

FRANCISCO DE DEUS FONSECA NETO

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE ORTOFOTOS GERADAS POR
SISVANT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2018

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F676a
2018
Fonseca Neto, Francisco de Deus, 1973-
Avaliação da acurácia posicional de ortofotos geradas por
SISVANT / Francisco de Deus Fonseca Neto. – Viçosa, MG,
2018.
xii, 90 f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Júlio César de Oliveira.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. Análise espacial (Estatística). 2. Cartografia. 3. Modelos
digital de elevação. 4. Mapeamento digital. 5. Fotogrametria
aérea. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. II. Título.

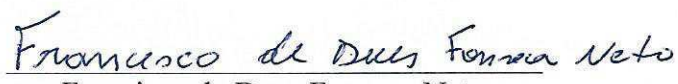
CDD 22. ed. 526

FRANCISCO DE DEUS FONSECA NETO

**AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DE ORTOFOTOS GERADAS POR
SISVANT**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa,
como parte das exigências do Programa de Pós-
Graduação em Engenharia Civil, para a obtenção do
título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 13 de dezembro de 2018.


Francisco de Deus Fonseca Neto
Autor


Julio César de Oliveira
Orientador

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, por ter me dado a oportunidade de estar vivo para realizar esse grande sonho, pois acredito que com fé e persistência é possível realizar grande parte dos seus sonhos e ideais.

Aos meus pais, Ana Célia e Edson Braga, que me incentivaram em todos os aspectos e aos meus irmãos, que sempre me deram força e também muito incentivo para continuar na busca desse objetivo. A toda a minha família, aos meus avós, Francisco e Arlinda (*in memoriam*). Aos meus queridos filhos Hiago, João Vitor e Alice, sei que por diversas vezes fui pouco participativo nas suas vidas, durante o processo de amadurecimento e conclusão do doutorado.

Ao meu sogro e sogra (João Braga e Helena), por todo incentivo e apoio em diversos momentos das nossas vidas, minha eterna gratidão.

Agradeço também ao meu cunhado e a minha cunhada que também acreditaram e nos incentivaram nas diversas etapas dessa conquista.

À minha digníssima esposa, por todo amor, paciência, contribuição, carinho, cuidado, e, sobretudo pela compreensão nos momentos de extrema ausência ocasionados pela dedicação ao desenvolvimento e conclusão desse doutoramento. Só Deus sabe tudo que passamos para realizarmos esse sonho.

À Universidade Federal Viçosa, por todos os conhecimentos adquiridos e por toda a infraestrutura disponibilizada na minha graduação, e no doutorado.

A todos os professores do setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Ao professor Joel Gripp, pois sem a sua aceitação, como seu orientado eu jamais teria entrado no programa. Fica aqui o meu eterno respeito, admiração e carinho. Ao professor Afonso dos Santos, pelos inúmeros ensinamentos, contribuições e orientação no desenvolvimento deste trabalho.

Ao querido amigo e professor Mosar Faria, que fomentou esse meu sonho, obrigado pelos ensinamentos, amizade e carinho.

Ao querido e amigo professor Ferraz pelo apoio incondicional em várias etapas dessa conquista.

Ao professor e amigo Júlio César, pelo carinho, amizade, pela sua orientação e dedicação para o término desse trabalho, obrigado de coração pela paciência e pela ajuda incondicional.

Ao professor e amigo Lécio Alves, que tanto contribuiu pelo amadurecimento desse trabalho, pois sem a sua ajuda continua, seria muito difícil ter terminado essa tese, fica aqui a minha eterna gratidão.

Ao professor e amigo, André Faria, pelo carinho, amizade, colaboração, pois, sempre que possível me deu abertura para utilizar o seu laboratório e seus equipamentos.

Aos colegas de trabalho do Instituto Federal do Estado do Espírito Santo (IFES), muito obrigado por todo apoio e incentivo.

Ao amigo Darlan Miranda, pelo apoio e contribuição.

Aos meus amigos Thiago e Geraldo ambos do laboratório de Engenharia de Agrimensura, ficam aqui a minha gratidão pelo apoio incondicional.

E a todos os meus amigos que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 2

Figura 2.1 – Metodologia do <i>Buffer Duplo</i>	17
Figura 2.2 – Método das feições pontuais utilizados no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto do VANT	20
Figura 2.3 – Método das feições lineares aplicadas ao processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto do VANT.....	21
Gráfico 2.1 – Discrepância posicional planimétrica obtida através do método de pontos utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional	23
Gráfico 2.2 – Discrepância posicional planimétrica obtido através do método de feições lineares (<i>Buffer Duplo</i>) utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional	23

CAPÍTULO 3

Figura 3.1 – Feições pontuais utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto pelo SISVANT	39
Figura 3.2 – Feições lineares utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto pelo SISVANT	40
Gráfico 3.1 – Gráficos das discrepâncias 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	43
Gráfico 3.2 – Gráficos das discrepâncias posicionais planimétricas obtida pelo método de feições lineares (<i>Buffer Duplo</i>) aplicado na avaliação da acurácia posicional para as diferentes alturas: (a) 80 m; (b) 150 m; e (c) 200 m	45

CAPÍTULO 4

Figura 4.1 – Avaliação da acurácia posicional em MDE: a) avaliação da acurácia posicional apenas vertical; b) avaliação da acurácia posicional vertical da forma correta. MDE teste (T) e referência (R)	63
Figura 4.2 – Metodologia do método do <i>buffer</i> duplo.....	64
Figura 4.3 – Localização da área de estudo	66
Figura 4.4 – Laser Scanner terrestre modelo VZ-400, da RIEGL.....	69
Figura 4.5 – Câmera, VANT Phantom 4 e controle com o smartphone.....	70
Figura 4.6 – GNSS RTK TPS T10	72
Figura 4.7 – Curvas de nível extraídas dos MDEs gerados com equidistância de 1,0 m	75
Gráfico 4.1 – Discrepâncias médias calculadas com o método do <i>buffer</i> duplo: a) comparação GNSS x SISVANT; b) comparação LST x SISVANT para a escala 1:1000	77
Gráfico 4.2 – Discrepâncias médias calculadas com o método do <i>buffer</i> duplo: a) comparação GNSS x SISVANT; b) comparação LST x SISVANT para a escala 1:2000	78
Gráfico 4.3 – Discrepâncias médias calculadas com o método do <i>buffer</i> duplo: c) comparação GNSS x SISVANT; d) comparação LST x SISVANT para a escala 1:5000	79

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 2.1 – Valores de tolerância para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-ADGV.....	15
Tabela 2.2 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV para escala 1:1000 da ortofoto analisada	24

CAPÍTULO 3

Tabela 3.1 – Valores de PEC-PDC e EP para as escalas 1:1.000 e 1:2.000.....	42
Tabela 3.2 – Diferença entre valores das médias e RMS dos métodos de feições pontuais e lineares para as diferentes alturas de voo utilizadas.....	46
Tabela 3.3 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:1.000 das ortofotos analisadas.....	48
Tabela 3.4 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:2.000 das ortofotos analisadas.....	48

CAPÍTULO 4

Tabela 4.1 – Tolerâncias para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84, em concordância com a ET-CQDG para as escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000.....	61
Tabela 4.2 – Classificação planimétrica do MDE teste (SISVANT) de acordo com o decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, considerando o levantamento realizado com o receptor GNSS como referência, e tendo o número de linhas igual a 20 feições lineares.....	80
Tabela 4.3 – Classificação planimétrica do MDE teste (SISVANT) de acordo com o decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, considerando o levantamento realizado com o LST como referência e tendo o número de linhas igual a 20 feições lineares.....	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CAR	Cadastro Ambiental Rural
CTM	Cadastro Técnico Multifinalitário
DSG	Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
ET-EDGV	Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-ADGV	Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-PCDG	Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais
ET-CQDG	Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
EP	Erro Padrão
FGDC	<i>Federal Geographic Data Committee</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
INS	<i>Inertial Navigation System</i>
INSAR	<i>Interferometric Synthetic Aperture Radar</i>
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LGO	<i>Leica Geo Office</i>
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiance</i>
LSA	Laser Scanner Aerotransportado
LST	Laser Scanner Terrestre
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Técnica
NSSDA	<i>National Standard for Spatial Data Accuracy</i>
NTGIR	Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais
PCD	Produtos de Conjuntos de Dados

PCM	Planta Cadastral Municipal
PDM	Plano Diretor Municipal
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PGV	Planta Genérica de Valores
PGM	Planta Geral do Município
PG	Planta Quadra
PISIU	Planta Indicativa de Sistemas de Infraestrutura Urbana
PRC	Planta de Referência Cadastral
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS
RMS	<i>Root Mean Square</i>
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SISVANT	Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados
SIG	Sistema de Informações Geográficas
ToF	<i>Time of Flight</i>
VANTs	Veículos Aéreos Não Tripulados

RESUMO

FONSECA NETO, Francisco de Deus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, dezembro de 2018. **Avaliação Da Acurácia Posicional De Ortofotos Geradas Por SISVANT**. Orientador: Júlio César de Oliveira. Coorientadores: Afonso de Paula Santos e Mosar Faria Botelho.

Uma das geotecnologias destinadas ao mapeamento de pequenas e médias áreas que vem se destacando atualmente são os Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados - SISVANT, pois proporcionam ao operador maior liberdade destinada para a obtenção de imagens em diferentes momentos em conjunto com alta resolução espacial. Nesse contexto, é pertinente desenvolver pesquisas relacionadas à integração dos dados adquiridos através de sensores remotos embarcados (câmeras não métricas) em plataformas de SISVANT com o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), de forma a se determinar a qualidade dos produtos gerados (ortofotos e Modelos Digitais de Elevação - MDEs) e investigar suas finalidades de uso e aplicações. Assim, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a qualidade posicional de produtos gerados por sistema imageador embarcado em SISVANT, considerando como premissa a aplicação dos métodos de feições pontuais e lineares fundamentados no Decreto nº 89.817/1984 conjuntamente com a Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) para fins de apoio à gestão cadastral. Os resultados relacionados ao primeiro experimento mostraram que para uma altura de voo de 80 m, através do método de feições pontuais obteve-se acurácia posicional planimétrica para as ortofotos como Classe B na escala 1:1.000, enquanto que empregando o método de feições lineares as ortofotos foram classificadas como Classe A para esta mesma escala. Já os resultados decorrentes do segundo experimento mostraram que para as alturas de voo de 150 m e 200 m utilizando ambos os métodos mencionados, obteve-se classe B. Para escala 1:2.000 as ortofotos foram melhor classificadas para ambos os métodos como Classe A. Para avaliação da acurácia posicional planimétrica dos modelos digitais, fez-se a extração das curvas de níveis dos MDEs gerados e aplicou-se o método do *Buffer* Duplo baseados no Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG, sendo o modelo testado classificado nas classes C, B e A nas escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, respectivamente. Através da avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por SISVANT abordadas nesta pesquisa verificou-se que estes dados são uma alternativa viável para aplicações destinadas ao CTM.

ABSTRACT

FONSECA NETO, Francisco de Deus, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, December, 2018. **Evaluation of Positional Accuracy of Orthophotos Generated by SISVANT.** Advisor: Júlio César de Oliveira. Co-Advisors: Afonso de Paula Santos and Mosar Faria Botelho.

One of the geotechnologies that currently stands out are the Unmanned Aerial Vehicle Systems (UAVs) to mapping small and medium areas, as they provide free repeatability jointly with a very high spatial resolution. In this context, it is pertinent to develop research related to the integration of data acquired through embedded remote sensors (non-metric cameras) on UAVs platforms with the Multipurpose Territorial Registration, in order to determine the quality of the products generated (orthophotos and Digital Elevation Models - DEM) and investigate its uses and applications. Thereby, the objective of this research was to evaluate the positional quality of products generated by the UAVs imagery system, considering as premise the application of the punctual and linear features methods based on Decree N°. 89,817/1984 together with the Technical Specification for Geospatial Data Quality Control (ET-CQDG) for supporting cadastral management. To a flight height of 80 m, through the application of punctual method was obtained a planimetric positional accuracy for the orthophotos as Class B in the 1:1,000 scale, while using the linear feature methods the orthophotos were classified as Class A for the same scale. For flight heights of 150 m and 200 m using both methods mentioned, Class B was obtained. Although for 1:2000 scale, the orthophotos were better classified for both methods as Class A. To evaluate the planimetric positional accuracy of the Digital Model, contour lines were extracted from the DEM generate by UAV and the Double Buffer method based on the Decree N°. 89.817 and ET-CQDG were applied, and the tested model was classified in classes C, B and A to the scales 1:1,000, 1:2,000 and 1:5,000, respectively. Through the evaluation of the positional quality of the spatial data generated by UAVs approached in this research it was verified that these data are a viable alternative for applications to Multipurpose Territorial Registration,

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 JUSTIFICATIVAS	5
1.3 OBJETIVOS	5
1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	6
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	6
CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE DADOS ESPACIAIS GERADOS POR SISVANT UTILIZANDO FEIÇÕES PONTUAIS E LINEARES PARA APLICAÇÕES CADASTRAIS	10
2.1 INTRODUÇÃO	10
2.2 PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL BRASILEIRO	13
2.3 MÉTODO DO <i>BUFFER</i> DUPLO PARA AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL UTILIZANDO FEIÇÕES LINEARES	16
2.4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS	18
2.4.1 Sistemas Conjuntos	18
2.4.2 Avaliação da Acurácia Posicional	19
2.5 RESULTADOS	22
2.6 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
CAPÍTULO 3: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE ORTOFOTOS GERADAS POR SISVANT COM DIFERENTES ALTURAS DE VOO PARA APLICAÇÕES CADASTRAIS	32
3.1 INTRODUÇÃO	32
3.2 Materiais e Métodos	37
3.2.1 SISVANT empregado e o aerolevante executado	37
3.2.2 Avaliação da Acurácia Posicional	38
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
3.4 CONCLUSÕES	50
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51
CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DO MDE PROVENIENTE DE SISVANT	55

4.1 INTRODUÇÃO	55
4.2 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO.....	58
4.3 PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL BRASILEIRO.....	60
4.4 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL EM MDEs.....	62
4.4.1 Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica.....	63
4.5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	66
4.5.1 Área de estudo	66
4.5.2 Materiais utilizados e Métodos	67
4.5.3 Técnicas de coleta de dados para geração de MDEs	67
4.6 METODOLOGIA	67
4.6.1 Laser Scanner Terrestre – LST	68
4.6.2 Sistema de veículo aéreo não tripulado com um sensor embarcado – SISVANT	70
4.6.3 Global Navigation Satellite System - GNSS.....	72
4.6.4 Pré-processamento dos Dados	73
4.6.5 Geração do MDE.....	74
4.6.6 Avaliação da acurácia Posicional do MDEs	74
4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES	76
4.8 CONCLUSÕES	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	83
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES GERAIS.....	89

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO GERAL

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O crescimento da economia mundial ocasionou, na última década, um aumento considerável na migração da população da zona rural para a área urbana. Neste contexto, o que se observa é uma maior concentração de habitantes nas áreas urbanas, refletindo em uma aglomeração de aproximadamente 80% da população (IPEA, 2014). Devido a este fato, faz-se necessária uma reflexão sobre as consequências desta ocupação, que geralmente ocorre de forma desordenada, desigual e sem nenhum planejamento ocupacional. Tais reflexões são de extrema importância, pois auxiliam na gestão sob a ótica de diversos temas, como: econômicos, legais, sociais, dentre outros.

Com o intuito de gerar informações sobre estes temas tem-se a necessidade do conhecimento e organização de dados não somente sobre os habitantes das áreas urbanas, mas também sobre o espaço ocupado por estes.

Dessa forma, DeCesare (2005, p. 58) afirma que “(...) o cadastro é o principal pilar no que tange a tributação imobiliária, com isso desempenha um papel de destaque, inclusive para fins de fiscalização. Sendo justificada porque pode prover arrecadação para posterior aplicação em melhorias para a própria população.

Com a evolução temporal, o Cadastro passou a ser aplicado para diversas finalidades, passando assim a se chamar Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM). O CTM tem um conceito mais abrangente, auxiliando nas tomadas de decisões referentes a problemas urbanos e rurais, que necessitam de atualizações constantes em seus dados cadastrais. Sendo assim, podemos considerar o Cadastro Territorial Multifinalitário como um “inventário territorial oficial e sistemático do município”, conforme definem as Diretrizes para a Criação, Instituição e Atualização do Cadastro Territorial Multifinalitário de todos os Municípios Brasileiros (CUNHA; ERBA, 2010; ABREU, 2017).

Nota-se que atualmente o espaço geográfico têm sofrido mudanças significativas seja por interferência oriunda dos fenômenos naturais ou pela ação do homem. Estes processos em sua maioria acontecem de forma rápida, e resultam em uma desatualização cartográfica relevante, o que remete a uma necessidade de um acompanhamento destes fenômenos de forma

a manter as bases cartográficas atualizadas, utilizando para isso diversas técnicas e equipamentos.

Segundo Roberto (2013), historicamente o acompanhamento dessas mudanças tem sido realizado por técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto em virtude da possibilidade de mapeamento temporal e espacial. Entretanto, o alto custo destas tecnologias pode-se se tornar um fator limitante para o mapeamento em áreas pequenas.

Como alternativa para a redução dos custos no mapeamento, o mercado de geotecnologias vem apresentando a tecnologia dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados associados a sensores embarcados denominados como (SISVANTs), quem tem demonstrado eficiência no mapeamento de pequenas áreas (EISENBEISS, 2004; NEBIKER *et al.*, 2008; BENTO, 2008; PEGORARO; PHILIPS, 2011). Entretanto, é evidente a necessidade do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à utilização dessa tecnologia, tanto no âmbito de segurança para integração dessa categoria ao espaço aéreo, bem como ao seu uso para a aquisição de dados de imagens em diversas aplicações (LUCIER *et al.*, 2012).

Pode-se observar que com o avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos, diversas áreas do conhecimento empregaram os SISVANTs para diversas finalidades, tais como: mapeamento de pastagens (LALIBERTE *et al.*, 2007), emergência ambiental (MORINCHINO, 2009), monitoramento de pontes e pavimentos de estradas (CHEN *et al.*, 2011), cartografia (FERREIRA *et al.*, 2013), atualização de cadastro florestal (BRAZ *et al.*, 2015), qualidade posicional de ortofotos para aplicações cadastrais (FONSECA NETO *et al.*, 2017), comparação entre normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos (ZANETTI *et al.*, 2018), entre outras.

Os SISVANTs constituem uma alternativa que pode ser utilizada para coleta de imagens aéreas e posterior geração de produtos cartográficos (ortofotos, modelos digitais de superfícies e de elevação, nuvens de pontos tridimensionais, etc.) através de um processamento fotogramétrico dos dados. Nesse sentido, a produção e disseminação de produtos cartográficos e de informações são efetuadas com maior rapidez, negligenciando em muitos casos a qualidade dos produtos gerados.

Os produtos cartográficos supramencionados podem ser utilizados para extração de informações a serem empregadas na gestão cadastral. No entanto, os produtos empregados devem ser submetidos ao controle de qualidade posicional, visto que as aplicações destes à gestão cadastral são dependentes da acurácia posicional.

Dentre os elementos presentes no processo de controle de qualidade, a avaliação da acurácia posicional é indispensável em bases cartográficas associadas a grandes escalas,

principalmente no que tange ao apoio básico em projetos de engenharia (ARIZA *et al.*, 2004). Incertezas inseridas em bases de dados desta natureza podem gerar consequências irreparáveis.

Ariza (2002), Galo e Camargo (1994), Santos (2010) e Lunardi *et al.* (2012) entendem que é preciso estabelecer critérios relacionados a qualidade do dado cartográfico, seja pela posição espacial (X, Y, Z), seus atributos e a sua variação temporal.

Em diversos países foram definidas leis, normas e padrões com o propósito de avaliar a acurácia posicional de produtos cartográficos. Uma das principais formas de avaliar tais produtos consiste na comparação, das informações posicionais de pontos de interesse entre a base cartográfica e dados de referência.

No Brasil, a norma oficial em vigência que ampara a avaliação da qualidade posicional de produtos cartográficos é estabelecida pelo Decreto 89.817 de 1984 (BRASIL, 1984). Este decreto tem como premissa a definição de três classes de produtos cartográficos (classe A, B e C) e são estabelecidas de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). Entretanto, Santos (2008) afirma que existem diversas metodologias relacionadas à avaliação de qualidade posicional de dados espaciais utilizando os padrões do PEC, uma vez que o Decreto 89.817/84 não define, claramente, uma metodologia de validação.

Com a criação da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) em 2008, por parte do governo federal, surgem diversas especificações técnicas com o papel de regulamentar e padronizar os inúmeros processos relacionados à produção cartográfica. Alves (2014) destaca que a INDE estabelece critérios para que os dados gerados pelos usuários tenham um padrão mínimo de qualidade e possam ser homologados como dados de referência, integrando assim a base de dados da INDE. Salienta-se que os dados constituintes do acervo homologado da INDE, passíveis de utilização pelos usuários em geral, apresentam alto índice de confiança devido ao cumprimento das especificações técnicas (ET) apresentadas a seguir.

Dentre as especificações técnicas produzidas no âmbito da INDE, pode-se citar:

- ET-EDGV - Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais que define um modelo conceitual (DSG, 2016);
- ET-ADGV - Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais que define regras de aquisição da geometria dos dados (DSG, 2016);
- ET-PCDG - Especificação Técnica de Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais que define os padrões dos produtos vetoriais e matriciais (DSG, 2016);

- ET-CQDG - Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (DSG, 2016).

Castejon *et al.* (2013) destacam que a validação de uma imagem registrada pode ser realizada a partir de referenciais por amostras pontuais, por linhas e até por sub-imagens. Neste sentido, métodos de controle de qualidade cartográfica que utilizam feições pontuais e lineares, como os descritos em Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017), são associados ao Decreto 89.817/84 e às especificações técnicas supracitadas visando atender aos padrões de qualidade nacionais.

Investigações através de métodos de avaliação da acurácia posicional que utiliza feições lineares, tem sido de grande relevância em diversos estudos relacionados ao Sistema de Informações Geográficas (SIG). Sendo assim, a comunidade científica destina um grande esforço, já há algumas décadas para a compreensão e desenvolvimento de diferentes técnicas de avaliação de qualidade em produtos cartográficos (TONG *et al.*, 2015).

De acordo com Santos *et al.* (2015), o uso de feições lineares como método de avaliação da acurácia posicional busca comparar a linha teste em relação à linha tida como referência. Por fim são avaliados alguns aspectos, tais como: quantidade de vértices, angularidade, razão entre os comprimentos, índices de sobreposição e interseções, etc.

Baseado na contextualização supracitada, este trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia posicional de um produto gerado utilizando o aerolevante, efetuado por um SISVANT, através da aplicação dos métodos de feições pontuais e lineares, de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro (Decreto 89.817/84 aliado à ET-ADGV / ET-CQDG), considerando como referência um levantamento topográfico executado utilizando a tecnologia GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*), e com um levantamento por sistema de varredura utilizando um Laser Scanner Terrestre (LST), cujo o objetivo é a avaliação da acurácia posicional do MDE a partir de dados coletados com SISVANT.

Salienta-se que, para mapeamento de áreas com reduzidas extensões territoriais, o sistema (SISVANT) apresenta um custo de aquisição de dados menos expressivo se comparado com a fotogrametria convencional e com LST.

1.2 JUSTIFICATIVAS

As transformações decorrentes da expansão urbana muitas vezes ocorrem de forma desenfreada ocasionando, por exemplo, a ocupação de áreas de risco, expostas a desastres naturais, suscetíveis a eventos como desabamentos e inundações. Neste cenário, informações cadastrais são de extrema importância, para os entes públicos em geral, pois possibilitam analisar as transformações ocorridas e melhorar os processos decisórios, resultando assim no planejamento de ações que permitem uma melhor ocupação do espaço territorial.

Informações confiáveis sobre o uso e ocupação do solo podem ser adquiridas a partir dos SISVANT, o que o torna uma tecnologia alternativa voltada para o mapeamento cadastral, principalmente quando se considera pequenas áreas, consolidando-se como uma técnica coerente para a coleta de dados geoespaciais com custos operacionais relativamente baixos.

Pretende-se com essa pesquisa avaliar as possíveis potencialidades dos dados de sensoriamento remoto obtidos com câmeras imageadoras não-métricas acopladas ao SISVANTs, sobretudo no que se refere aos produtos gerados (ortofoto, MDE entre outros), para auxiliar o mapeamento cadastral seja na zona rural ou urbana, para fins de gestão e tomada de decisão.

1.3 OBJETIVOS

O objetivo geral desta pesquisa consiste na avaliação da qualidade cartográfica dos produtos gerados por sensores embarcados em sistemas de veículos aéreos não tripulados (SISVANT).

Como objetivos específicos têm-se:

- Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por SISVANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais;
- Emprego dos métodos de feições pontuais e lineares para avaliar a acurácia posicional de ortofotos geradas por meio de aerolevanteamento efetuado por um SISVANT com diferentes alturas de voo.
- Avaliação da acurácia posicional de MDE oriundo de SISVANT.

1.4 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente documento está dividido em cinco tópicos, conforme segue:

INTRODUÇÃO GERAL: Apresentação de uma introdução sobre o tema e as hipóteses utilizadas no trabalho, bem como, os objetivos gerais e específicos do trabalho, justificativas e importância do presente estudo.

CAPÍTULO 2: *Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por SISVANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais* – cujo objetivo é inferir a acurácia posicional planimétrica de uma ortofoto gerada por aerolevanteamento realizado com um sensor embarcado em um SISVANT.

CAPÍTULO 3: *Avaliação da qualidade posicional de ortofotos geradas por SISVANT com diferentes alturas de voo para aplicações cadastrais* – cujo objetivo é analisar a acurácia posicional planimétrica de ortofotos derivadas de aerolevanteamentos efetuados por um SISVANT com diferentes alturas de voos.

CAPÍTULO 4: *Avaliação da acurácia posicional do MDE oriundo de SISVANT*– cujo objetivo é avaliar a acurácia planimétrica de um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados coletados com SISVANT.

CONCLUSÕES GERAIS – expõe as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. V. S. **Avaliação da aplicabilidade dos sistemas de projeções transversas de Mercator na cartografia cadastral no Brasil**. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

ALVES, P. D. V. Avaliação da qualidade de produtos cartográficos: proposta de metodologia para avaliação da componente completude. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA*, 26., 2014, Gramado. **Anais...** Gramado: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

ARIZA, F. J. **Calidad en la producción cartográfica**. 1. ed. Madrid: Ra-Ma, 2002. 389 p. ISBN 84-7897-524-1.

ARIZA, F. J.; BALBOA, J. L. G.; PULIDO, R. A. **Casos práticos de calidad en la producción cartográfica**. 1. ed. Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén, 2004. 388 p. ISBN 84-8439-239-2.

BENTO, M. F. Unmanned aerial vehicles: an overview. **Inside GNSS**, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2008.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 10 set. 2015.

BRASIL. **Estabelece as Instruções Regulatoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. **Diário Oficial da União**, n. 120, 1984.

BRAZ, A. M.; BORGES, J. P. S.; BERNARDES, D. C. S.; TEREZAN, L. H. Análise Da Aplicação de VANT Na Atualização de Cadastro Florestal Com Uso de Pontos de Controle. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: Centro de Congressos de João Pessoa, 2015. p. 2751-2758. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0545.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

CASTEJON, E. F.; FONSECA, L. M. G.; ARCANJO, J. S. Melhoria da geometria e posicionamento de imagens orbitais de média resolução: Um experimento com dados CBERS-CCD. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 8043-8045. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.35.12/doc/p1233.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

CHEN, S. E.; RICE, C.; BOYLE, C.; HAUSER, E. Small-format aerial photography for highway-bridge monitoring. **Journal of Performance of Constructed Facilities**, v. 25, n. 2, p. 105-112, 2011.

CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. **Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010. 170 p. ISBN: 978-85-7958-018-5.

DE CESARE, C. O. Cadastro como Instrumento de Política Fiscal. *In*: ERBA, D. A.; OLIVEIRA, F. L.; LIMA JR., P. N. (orgs.). **Cadastro Multifinalitário como Instrumento de Política Fiscal e Urbana**. Rio de Janeiro: p. 39-71. 2005. Disponível em: http://www.cidades.gov.br/index.php?option=com_docman&task=docclick&bid=181, 144p., 2005. Acesso em: 5 set. 2015.

DSG. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais**. 1 ed.. Brasília, 2016. 94 p.

EISENBEISS, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PROCESSING AND VISUALIZATION USING HIGH RESOLUTION IMAGERY, Proceedings [...]*. Pitsanulok, 2004. p. 18-20.

FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; MAROTTA, G. S.; MENEZES, P. H. B. J. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 9332-9339. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.51.59/doc/p1438.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

FONSECA NETO, F. D. D. F.; JÚNIOR, J. G.; BOTELHO, M. F.; SANTOS, A. D. 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, 2017.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO*, 1., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 41-48.

IPEA, **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada**, 2014. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/sites>. Acesso em: 05 dez 2015.

LALIBERTE, A. S.; RANGO, A.; HERRICK, J. E. Unmanned aerial vehicles for rangeland mapping and monitoring: a comparison of two systems. *In: ASPRS ANNUAL CONFERENCE PROCEEDINGS*, 2007, Tampa. **Proceedings [...]**. Tampa: Marriott Waterside Hotel, 2007. Disponível em: <https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2011/01/0039.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2015.

LUCIEER, A.; ROBINSON, S.; TURNER, D.; HARWIN, S.; KELCEY, J. Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 39-B1., 2012, Melbourne. **Proceedings [...]**. Melbourne, 2012. p. 429-433. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-429-2012>, 2012. Acesso em: 05 nov. 2015.

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T.; CERQUEIRA, R. W. O Exército Brasileiro e os Padrões de Dados Geoespaciais para a INDE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 4., 2012, Recife, p. 1-8. **Anais eletrônicos...** Recife: Hotel Golden Tulip Recife, 2012. Disponível em: https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/042_2.pdf. Acesso em: 01 nov. 2015.

MARENCHINO, D. Low-cost UAV for the environmental emergency management photogrammetric procedures for rapid mapping activities. **Journal Horizon**, Torino, 2009.

NEBIKER, S.; ANNEN, A.; SCHERRER, M.; OESCH, D. A Light-Weight Multispectral Sensor for micro UAV – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 37-B1., 2008, Beijing. **Proceedings** [...]. Beijing, 2008. p. 429-433. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.5893&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. Quadrirotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: Estação Convention Center, 2013. p. 8461. Disponível em: <http://mar.tecid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.05.18.33/doc/p0521.pdf>. Acesso em: 17 set. 2015.

ROBERTO, A. J. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informações Geográficas) – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, Porto, PT, 2013.

SANTOS, A. P. **Avaliação do padrão de exatidão cartográfica em imagens Ikonos e CBERS-2B da bacia do ribeirão São Bartolomeu**. 2008. Monografia (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

SANTOS, A. P. **Avaliação Da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o uso de Estatística Espacial**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

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.

TONG, X.; SUN, T.; FAN, J.; GOODCHILD, M. F.; SHI, W. A Statistical Simulation Model for Positional Error of Line Features in Geographic Information Systems (GIS). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 21, p. 136-148, 2013. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jag.2012.08.004>. Acesso em: 15 set 2015.

ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; SANTOS, A. P. Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 359-390, 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.14393/rbcv70n1-45259>. Acesso em: 23 set de 2018.

CAPÍTULO 2: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE DADOS ESPACIAIS GERADOS POR SISVANT UTILIZANDO FEIÇÕES PONTUAIS E LINEARES PARA APLICAÇÕES CADASTRAIS

Resumo:

Atualmente, a validação da qualidade das informações cartográficas tem sido um tema cada vez mais evidente e de extrema importância. Com o surgimento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), surgiram diversas especificações técnicas com a finalidade de regulamentar e padronizar os inúmeros processos relacionados à produção cartográfica nacional. Nesse contexto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a acurácia posicional planimétrica de uma ortofoto gerada a partir de um sensor embarcado em uma plataforma SISVANT, aplicou-se os métodos de feições pontuais e lineares, de acordo com o padrão de acurácia posicional brasileiro (Decreto nº 89.817/84 aliado à ET-ADGV), considerou-se como referência um levantamento topográfico utilizando a tecnologia *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e método de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK). Os resultados alcançados demonstram que tanto o método de feição linear (método *Buffer Duplo*) quanto o método de feição pontual apresentaram resultados similares, obtendo-se segundo o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-ADGV sendo classificada como classe B para a escala 1:1000.

2.1 INTRODUÇÃO

Observa-se em dias atuais que o espaço geográfico tem sofrido mudanças significativas, oriundas de fenômenos naturais ou artificiais. Estes processos acontecem, em sua maioria, de forma rápida, não permitindo acompanhamento contínuo, o que acentua a observância sobre a desatualização cartográfica.

Roberto (2013) afirma que o acompanhamento dessas mudanças tem sido há anos realizado por técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Utilizando-se dos princípios das técnicas citadas anteriormente, destacam-se atualmente os sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANTs) que, atuando de forma conjunta com sensores (câmeras não métricas) embarcados, constituem-se como uma alternativa para a atualização cartográfica. Segundo Braz *et al.* (2015), esses Sistemas SISVANT – integração entre uma plataforma e um sensor - se

sobressaem devido a vários fatores: como: resolução espacial, liberdade destinada ao operador para a obtenção de imagens em diferentes momentos; facilidade no planejamento e desenvolvimento de planos de voos; grande possibilidade de se estruturar uma base de dados com imagens multitemporais, proporcionando agilidade nos procedimentos, e, conseqüentemente uma redução do custo aos usuários.

Nesse contexto, o mercado de geotecnologias vem apresentando os SISVANT como alternativa tecnológica, em que demonstra sua eficiência quando empregados ao mapeamento de pequenas áreas, proporcionando resolução temporal na ordem de minutos e alta resolução espacial (EISENBEISS, 2004; NEBIKER *et al.*, 2008; BENTO, 2008; PEGORARO; PHILIPS, 2011).

Os fatores mencionados, somados ao avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos tais como: evolução de *hardware* e *software*; maior capacidade de processamento; maior capacidade de armazenamento; processamento em nuvem; materiais de construção; evolução técnica de componentes eletrônicos, como micros controladores, sistemas inerciais e receptores GNSS; dentre outros, justificam a aplicação dos Sistemas Conjunto (SC) em diversas áreas do conhecimento e com diversas finalidades.

Dentre as finalidades mencionadas podem-se citar: inspeção do trabalho (HAARBRINCK; KOERS, 2006), emergência ambiental (MARENCHINO, 2009), mapeamento de pastagens (LALIBERTE *et al.*, 2010), monitoramento de pontes e pavimentos de estradas (CHEN, 2011), cartografia (ROIG *et al.*, 2013), avaliação de câmera de pequeno formato para uso de aerolevanteamento (FERREIRA, 2014), para mapeamento tridimensional (NEX; REMONDINO, 2014), gerenciamento de colheita (MESAS-CARRASCOSA *et al.*, 2015), atualização de cadastro florestal (BRAZ *et al.* 2015), dentre outras.

Nesse caso, a necessidade do desenvolvimento de pesquisas relacionadas à utilização dessa tecnologia torna-se evidente, tanto no âmbito da segurança para integração dessa categoria ao espaço aéreo, bem como ao seu uso para a aquisição de dados cartográficos para várias aplicações (LUCIEER *et al.*, 2012). Dentre as aplicações que utilizam como ferramenta os produtos cartográficos gerados por Sistemas Conjunto, pode-se citar o Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM). Isso se justifica pela necessidade de o CTM apresentar uma necessidade de atualização em seus diversos elementos, em especial a sua base cartográfica, atualizada de forma contínua, ou o mais próximo disso. Tal continuidade reflete a importância de se efetuar, não somente um acompanhamento temporal de elementos importantes já cadastrados, mas também proceder ao cadastramento de novos elementos. Diversas são as áreas

de abrangência do CTM, tais como: cadastros temáticos, cadastro territorial e regularização fundiária.

O Ministério do Meio Ambiente (MMA), tem se apoiado no CTM como ferramenta para o desenvolvimento de políticas públicas e fiscais, visando principalmente, à preservação e manutenção ambiental em localidades rurais, instituídas pelo Cadastro Ambiental Rural (CAR). Um dos instrumentos legais que norteiam o CAR é instituído o Novo Código Florestal pela Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012 (BRASILEIRO, 2012), em que estabelece normas gerais sobre a proteção da vegetação, Áreas de Preservação Permanente e as áreas de Reserva Legal; a exploração florestal, o suprimento de matéria-prima florestal, o controle da origem dos produtos florestais e o controle e prevenção dos incêndios florestais, e prevê instrumentos econômicos e financeiros para o alcance de seus objetivos.

No entanto, devido à importância atrelada aos itens acima citados, a Lei nº 12.651 não apresenta critérios que possam direcionar a avaliação da qualidade posicional dos dados utilizados, ou seja, não há o estabelecimento de tolerâncias posicionais aplicáveis aos dados espaciais utilizados para a realização do CAR. Nesse contexto, propõe-se como uma forma de melhoria para tal procedimento a avaliação e validação da qualidade posicional dos dados espaciais que são utilizados para esse fim.

A validação da qualidade das informações cartográficas tem sido um tema cada vez mais evidente e de extrema importância. Com o surgimento da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) em outubro de 2007, proposta pelo Decreto Presidencial nº 6.666 de 27 de novembro de 2008, surgiram diversas especificações técnicas com a finalidade de regulamentar e padronizar os inúmeros processos relacionados à produção cartográfica nacional.

Dessa forma, Galo e Camargo (1994), Karnaukhova e Loch (2001), Goodchild (2010), Lunardi *et al.* (2012) e Santos *et al.* (2015) entendem que é de extrema importância a análise da qualidade posicional, uma vez que a criação e disseminação de produtos cartográficos se tornou rápida e, na maioria dos casos, tem a qualidade cartográfica negligenciada.

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. Uma das características principais destes padrões consiste na comparação entre pontos de checagem homólogos pertencentes às bases cartográficas distintas. No Brasil, a avaliação da qualidade posicional que se utiliza dessa metodologia é regimentada pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984 e, que pode ser complementada pela Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais

(ET-ADGV) elaborada pela Divisão do Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG, 2015).

Nesse contexto, Castejon *et al.* (2013) afirma que a validação de uma imagem registrada pode ser realizada a partir de referenciais por amostras pontuais, por linhas e até por sub-imagens.

De acordo com Santos *et al.* (2015), o uso de feições lineares como método de avaliação da acurácia posicional busca comparar a linha teste em relação à linha tida como referência. Por fim são avaliados alguns aspectos, tais como: quantidade de vértices, angularidade, razão entre os comprimentos, índices de sobreposição e interseções.

Portanto, a investigação através de métodos de avaliação da acurácia posicional que utiliza feições lineares, tem sido de grande relevância em diversos estudos relacionados ao Sistema de Informações Geográficas. Sendo assim, a comunidade científica destina um grande esforço, já há algumas décadas para a compreensão e desenvolvimento de diferentes técnicas de avaliação (TONG *et al.*, 2015).

Baseado na contextualização supracitada, este trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia posicional planimétrica de um produto gerado utilizando o aerolevantamento, efetuado por um SISVANT.

Como os sensores embarcados às plataformas SISVANT tem sido uma ferramenta cada vez mais utilizada para aquisição de dados espaciais com a finalidade Cadastral Ambiental Rural por diversas instituições, justifica-se esse trabalho pela necessidade de se efetuar a avaliação e validação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por SISVANT (ortofotos), destinados a aplicações no CAR, utilizando metodologias consistentes, como as apresentadas por Santos *et al.* (2015). A não exigência de critérios posicionais impostos pela legislação que rege o CAR (Lei nº 12.651) corrobora para a deterioração de informações relevantes ao desenvolvimento sustentável do país. Nesse contexto, esse estudo pode ser utilizado, de forma a compor, nortear ou auxiliar demais pesquisas, com o foco no desenvolvimento de critérios que amparem a qualidade de dados espaciais destinados ao CAR.

2.2 PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL BRASILEIRO

Santos *et al.* (2015) enfatiza que existem vários métodos de avaliação da acurácia posicional que utilizam feições pontuais, sendo que todos eles são similares. A semelhança entre os métodos se dá devido ao fato de realizarem a comparação entre a amostra de pontos de

checagem, obtida em campo ou em algum dado espacial mais acurado, com a amostra de pontos homólogos no dado espacial em avaliação. A partir dos resultados gerados dessa comparação, diversas formulações e testes estatísticos são aplicados de acordo com a norma de acurácia posicional utilizada.

No Brasil, a norma oficial utilizada para a avaliação da acurácia posicional é estabelecida pelo Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. De acordo com Brasil (1984), DSG (2011), DSG (2015), esse decreto 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.

Devido à evolução tecnológica, a popularização de equipamentos que utilizam dados e informações geoespaciais e as demandas dos usuários, percebeu-se a necessidade de estabelecer novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos (DSG, 2015). De forma a atender tal necessidade, em junho de 2011, foi elaborada pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG) em conformidade (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 nº. 89.817/84, 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).

Santos *et al.* (2015) afirmam que no Decreto nº 89.817/84 está implícito que os dados de discrepâncias posicionais sigam a distribuição normal. Portanto, para se utilizar o padrão de acurácia posicional seguindo tal Decreto e, conseqüentemente, a ET-ADGV, deve-se inicialmente atestar a normalidade da amostra de discrepâncias posicionais. Existem diversos testes que podem ser utilizados para a verificação da normalidade, dentre eles podem-se citar: *Shapiro-Wilk*, *Komolgorov-Smirnov*, *Anderson-Darling*, *Qui-Quadrado*.

Segundo Brasil (1984), Sztutman (2014), DSG (2015) e Santos *et al.* (2015) existem 2 (dois) critérios que devem ser atendidos para que um produto cartográfico digital seja classificado quanto ao Decreto nº 89.817/84, a saber: (i) 90% dos pontos testados devem apresentar valores de discrepâncias iguais ou inferiores ao valor do PEC-PCD em relação à

escala e a classe testada e; (ii) o RMS (*Root Mean Square*) das discrepâncias deve ser igual ou inferior à tolerância EP definido pela norma, apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Valores de tolerância para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-ADGV

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria		Escala 1:1000	
		PEC (mm)	EP* (mm)	PEC (m)	EP* (m)
-	A	0,28 x D	0,17 x D	0,28	0,17
A	B	0,50 x D	0,30 x D	0,50	0,30
B	C	0,80 x D	0,50 x D	0,80	0,50
C	D	1,00 x D	0,60 x D	1,00	0,60

*EP é uma tolerância chamada erro padrão de acordo com o Decreto nº 89.817/84; D representa o denominador da escala utilizada.

Fonte: O Autor.

A Equação 2.1 descreve o modelo matemático utilizado para a determinação da discrepância planimétrica, sendo a resultante posicional entre as coordenadas de campo ou referência (X_{ref} , Y_{ref}) com as coordenadas do dado espacial em teste (X_{tes} , Y_{tes}). Conseqüentemente, o modelo matemático para o cálculo do RMS das discrepâncias pode ser observado na Equação 2.2.

$$Disc_p = \sqrt{(X_{tes} - X_{ref})^2 + (Y_{tes} - Y_{ref})^2} \quad (2.1)$$

$$RMS_{Disc} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Disc_p)^2}{n-1}} \quad (2.2)$$

Onde: $Disc_p$ representa discrepância posicional; e n representa o número de observações.

Segundo Santos (2010), quando se aplica o controle de qualidade de dados espaciais, é de fundamental importância a análise de tendências (efeitos sistemáticos). Tal análise se justifica, pois, ao se utilizar um dado tendencioso a integração entre dados fica impossibilitada, podendo gerar análises inconsistentes, influenciando negativamente os processos decisórios, gerando produtos que não condizem com a realidade de campo. Nesse contexto, é comum que

se efetue testes estatísticos para a verificação de tendências em dados espaciais. Santos (2010), Lima (2012), Sztutman (2014), afirmam que, na análise de tendências em dados espaciais, utilizam-se o teste *t de Student* na amostra de discrepâncias posicionais ($Disc_p$) de modo a verificar se a média das discrepâncias posicionais é estatisticamente igual à zero, inferindo, assim, se o produto avaliado apresenta tendência ou não à um determinado nível de confiança. Vale ressaltar que o teste *t de Student* (teste de hipótese), exige que a amostra siga distribuição normal.

Nesse caso, como ressalta Lima (2012), a análise de tendência é de extrema importância, pois, existindo erro sistemático, ou seja, tendência, esta pode ser eliminada com uma simples translação na direção em que se constata tal ocorrência, o que corresponde a subtrair o valor da média de cada valor de discrepância.

2.3 MÉTODO DO *BUFFER* DUPLO PARA AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL UTILIZANDO FEIÇÕES LINEARES

Dentre os diversos métodos de controle de qualidade cartográfica pode-se citar os que se fundamentam sobre feições lineares. Como mencionado por Santos *et al.* (2015), os métodos de feições lineares não são frequentemente divulgados e nem aplicados em estudos aprofundados no Brasil. Esses métodos, em sua maioria, apresentam como finalidade a avaliação dos resultados gerados no processo, ou método, de generalização cartográfica.

Os principais métodos que adotam feições lineares podem ser subdivididos em 3 (três) categorias: 1) os de faixa de incerteza que utilizam uma abordagem determinística; 2) os de faixa de incerteza que utilizam uma abordagem estocástica e; 3) os de métodos determinísticos que realizam análises geométricas. Dentre os métodos de tipo 1, pode-se citar os da Banda Épsilon ou Método das Áreas, *Buffer Simple* e *Buffer Duplo*. Portanto, optou-se por utilizar para este trabalho o *Buffer Duplo*, justificável pela apresentação dos melhores resultados em estudos desenvolvidos por Santos *et al.* (2015).

Tveite e Langaas (1999) propuseram o método do *Buffer Duplo*, chamado pelos autores de *Buffer Overlay Statistics*. Este procedimento é efetuado aplicando-se o modelo da faixa de incerteza nas duas linhas utilizadas (linha de referência e linha de teste), ou seja, aplica-se um *buffer* em ambas as linhas, e em seguida realiza-se uma interseção entre os polígonos resultantes dos *Buffers* obtendo-se assim uma medida de discrepância média entre as feições lineares. A

partir dos resultados obtidos na etapa supracitada, é possível avaliar posicionalmente a acurácia do dado espacial em teste.

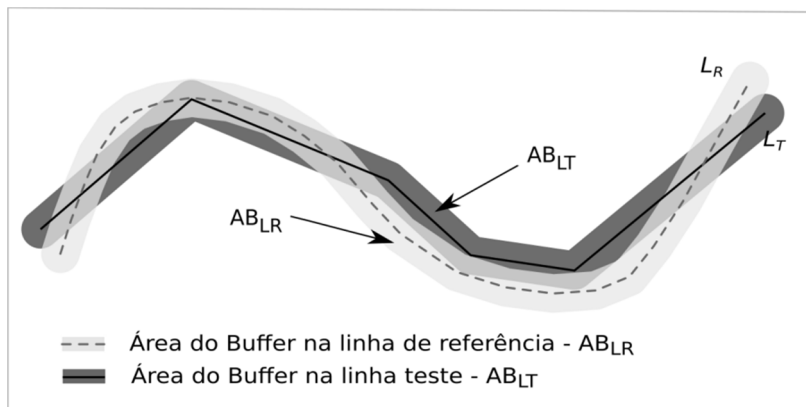
A Equação 2.3 descreve o modelo matemático utilizado para o cálculo da discrepância (dm), que é obtida multiplicando-se o valor de pi (π) pela largura do *buffer* (x) e pelo somatório da área do *buffer* da linha de referência que não faz interseção com o *Buffer* da Linha de Teste (A_{Fora}), dividido pelo valor da área formada pelo *Buffer* da Linha Teste (AB_{LT}).

$$dm_i = \pi \cdot x \cdot \frac{(\sum A_{\text{fora}})_i}{AB_{LT}} \quad (2.3)$$

Onde: x representa a largura do *buffer*; A_{fora} representa área do *buffer* da linha de referência que não faz interseção com o *Buffer* da Linha de Teste; e AB_{LT} representa a área formada pelo *Buffer* da Linha Teste.

O método do *Buffer* duplo pode ser observado na Figura 2.1.

Figura 2.1 – Metodologia do *Buffer* Duplo



Fonte: Santos *et al.* (2015).

Apesar do Decreto não definir o uso de métodos de feições lineares, Santos *et al.* (2015) sugere a aplicação do método do *Buffer* Duplo utilizando as tolerâncias do padrão Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV. Esta aplicação pode ser efetuada seguindo as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n Linhas homólogas de Teste (L_{Test}) e de Referência (L_{Ref});
2. Aplicar um *buffer* de tamanho x em cada linha i da amostra de linhas homólogas de teste e referência. Para o emprego do Decreto nº 89.817/84, utiliza-se como

tamanho do *buffer* o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;

3. Calcular a área AB_{LT} gerada pela operação de *buffer* em cada linha de teste.
4. Fazer uma sobreposição entre os polígonos gerados pelos *buffers* da linha teste e da linha de referência e calcular o valor de A_{Fora} , referente a área do polígono de referência que não faz interseção ao polígono teste ($AB_{LR} - AB_{LT}$);
5. Calcular a discrepância média (dm), para cada linha teste i (equação 2.3);
6. Para análise do Decreto n° 89.817/84, sugere-se verificar a independência e normalidade e, se constatada, faz-se a análise se 90 % das linhas testadas apresentam discrepância média (dm) menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizados para gerar o *Buffer x*), e ainda, o RMS das discrepâncias dm ser menor ou igual ao valor do EP (idem ao PEC). Se as duas condições forem aceitas, classifica-se o dado espacial de acordo com a classe e escala trabalhada.

2.4 EXPERIMENTOS E RESULTADOS

2.4.1 Sistemas Conjuntos

Para a realização desse experimento foi utilizado um hexacóptero, modelo F550, cujas características relevantes a esse equipamento são: asa rotativa, envergadura de 80 cm, alimentação a bateria, autonomia de voo de 12 min e capacidade de carga 2,8 kg. É composto por: uma plataforma aérea dotada de seis hélices e rotores, um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para posicionamento absoluto via código (navegação); e, um sistema inercial.

O sistema de controle de voo foi realizado por um rádio, modelo Futaba T10J, composto por um transmissor que se comunica com um receptor embarcado no hexacóptero. O procedimento de controle de voo foi visual e externo a aeronave, com uma visão aérea direta. Isso significa que todo o processo foi manipulado via rádio controle e executado pelo piloto de forma visual e, quando necessário, foi manipulado utilizando a estação base (quando estiver fora do campo de visão).

A câmera (sensor) utilizada para aquisição das imagens foi uma Go Pro, modelo *Black Edition HERO 3+*, programada para adquirir imagens em intervalos de tempo pré-definidos (a cada dois segundos). De forma a garantir a estabilidade e rotação da câmera, utilizou-se um suporte Gimbal, modelo Tarot 2D. Esse suporte permitiu o movimento da câmera de 0° a -90° para a tomada da foto em vista panorâmica ou a nadir.

O termo SISVANT, refere-se à incorporação de todos os itens anteriormente descritos (entre eles o hexacóptero, a Câmera e o Gimbal) em um único equipamento. O monitoramento e controle do voo fotogramétrico foram efetuados a partir de um sistema de comunicação que envia as informações de todos os componentes a bordo para uma estação de recepção localizada em solo. Sua capacidade de programação de voo sugere planejamentos de rota que podem ser executados de forma manual ou automática.

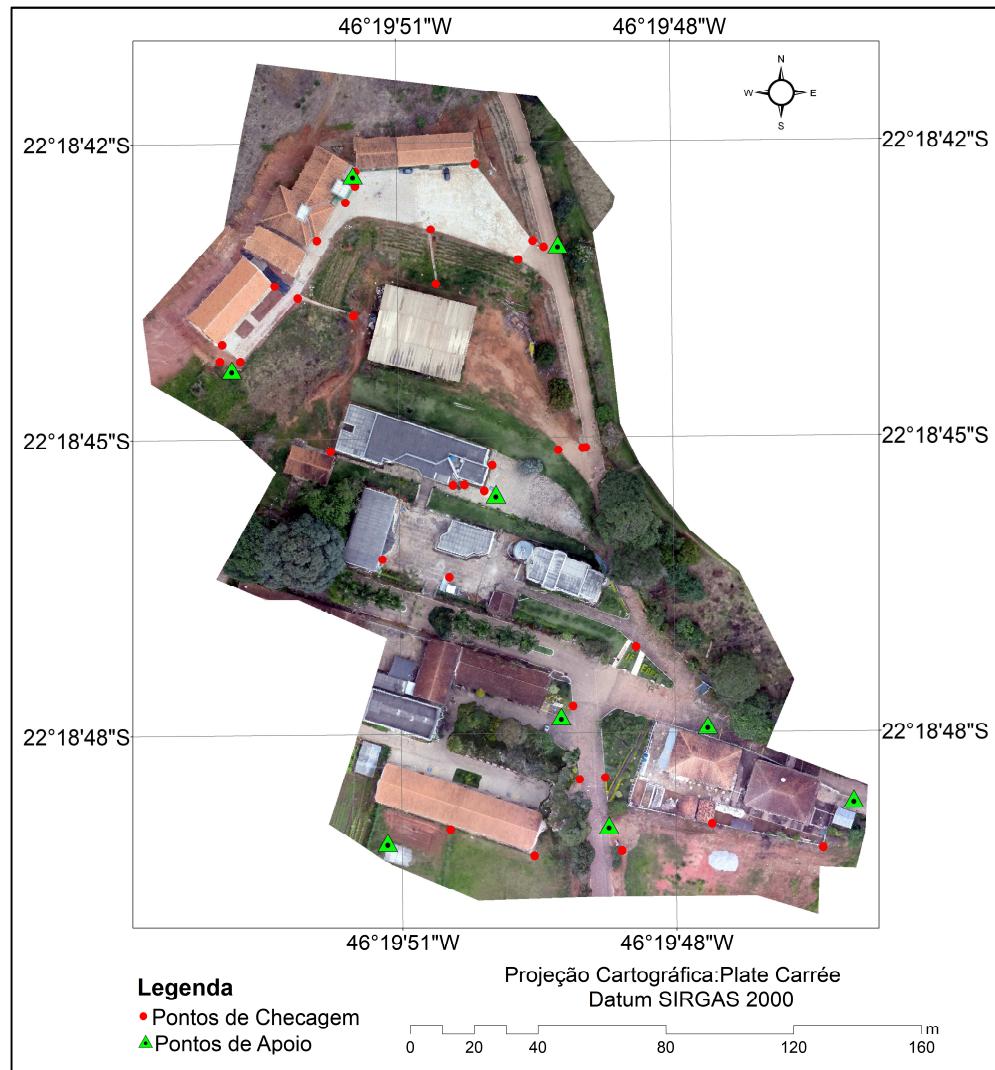
Com o VANT montado, deu-se início ao planejamento do voo e coleta das imagens. O voo foi planejado para recobrir toda a área, a uma altitude de 80m em relação a base, com *Ground Sample Distance* (GSD) – elemento de resolução ou tamanho do pixel no terreno) médio de 4,133 cm e sobreposição de 70%. Após a coleta das imagens, efetuou-se o processamento dos dados. Tal processamento foi efetuado utilizando recursos do software *Agisoft Photoscan*, desenvolvidos especificamente para reconstrução visual tridimensional (3D), porém adaptado para processamento de conjuntos de imagens e dados de levantamentos aéreos de veículos não tripulados. Assim, obteve-se a ortofoto utilizando o Modelo Digital de Superfície (MDS) gerado e 35 pontos de controle distribuídos na área.

2.4.2 Avaliação da Acurácia Posicional

De posse da ortofoto, deu-se início aos procedimentos para a avaliação de sua acurácia posicional planimétrica. Foram coletadas em campo 11 feições bem definidas tendo como valor em termo de comprimento total de 282,73m e 35 pontos de checagem, conforme Figuras 2.2 e 2.3. Como o Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV não define a quantidade de pontos a ser utilizada em uma avaliação da acurácia posicional, utilizou-se a norma americana *National Standard for Spatial Data Accuracy* (NSSDA) que indica que um mínimo de 20 pontos deve ser utilizado no processo de avaliação, como pode ser observado em FGDC (1998). Alguns passos importantes para obtenção de resultados consistentes durante a coletas dos pontos foram observados: escolha da área, evitando locais com obstrução dos sinais dos satélites pela arborização e/ou edificações; observância do relevo, de modo que os pontos fossem distribuídos

pelas baixas, médias e altas altitudes; e, escolha de pontos e trechos de calçadas bem distribuídos espacialmente. Foram utilizados no levantamento de campo, receptores GNSS de dupla frequência no método de posicionamento RTK tanto para a coleta dos pontos quanto para a coleta das feições lineares. Os pontos e as feições levantadas apresentaram uma precisão posicional planimétrica entre 0,5 e 1,1 cm, respectivamente.

Figura 2.2 – Método das feições pontuais utilizados no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto do VANT



Fonte: O Autor.

Figura 2.3 – Método das feições lineares aplicadas ao processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto do VANT



Fonte: O Autor.

Em seguida, foi realizado o processo de vetorização das linhas correspondentes às feições coletadas e as coordenadas dos pontos homólogos na ortoimagem, sendo que todos os processos foram realizados no *software* ArcGIS10.2. Com as discrepâncias posicionais planimétricas calculadas (feições pontuais) e as discrepâncias médias (dm) entre as feições lineares foi possível aplicar os métodos descritos nas seções 2.2 e 2.3 para avaliação da acurácia posicional planimétrica da ortofoto gerada.

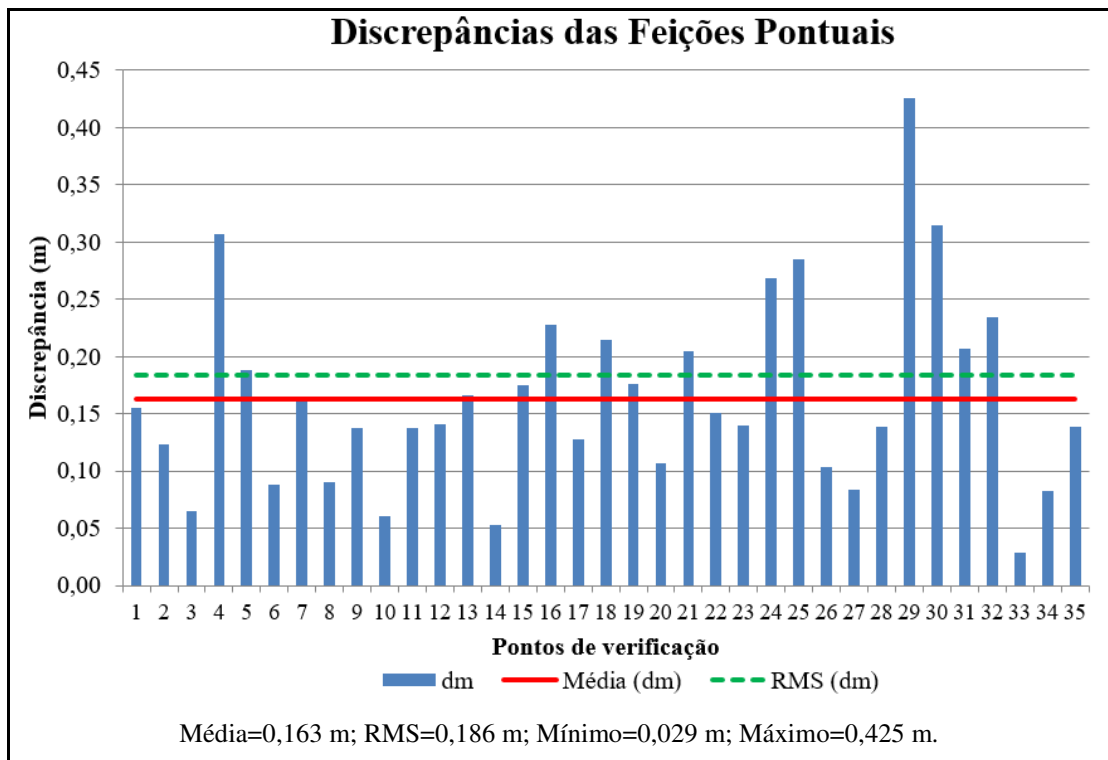
2.5 RESULTADOS

De posse das amostras de discrepâncias, obtidas pelos métodos de feições lineares e por pontos, foram verificadas a normalidade dos dados aplicando-se o teste de *Shapiro-Wilk*. Utilizou-se o software R (R Core Team, 2014) para a aplicação de tais testes estatísticos, sendo os dados normais ao nível de confiança de 95%.

Constatada a normalidade da amostra de discrepâncias, fez-se a avaliação da acurácia posicional da ortoimagem do SISVANT utilizando os valores de PEC-PCD e EP para a escala 1:1000, conforme apresentada na Tabela 2.1. A utilização da referida escala é justificada, por ser utilizada em projetos de mapeamento urbano (delimitação de quadras, edificações entre outros), com finalidades cadastrais. Nesse caso, considera-se como referência para a determinação dos parâmetros de qualidade posicional (atrelados à escala utilizada) que tornem as propostas apresentadas nesse trabalho coerentes e relevantes. A adoção de tal escala se dá, também por refletir, de forma satisfatória, o conteúdo informativo do produto cartográfico adotado, de forma que permita a verificação do atendimento ao seu propósito (CAR, CTM ou levantamentos gerais).

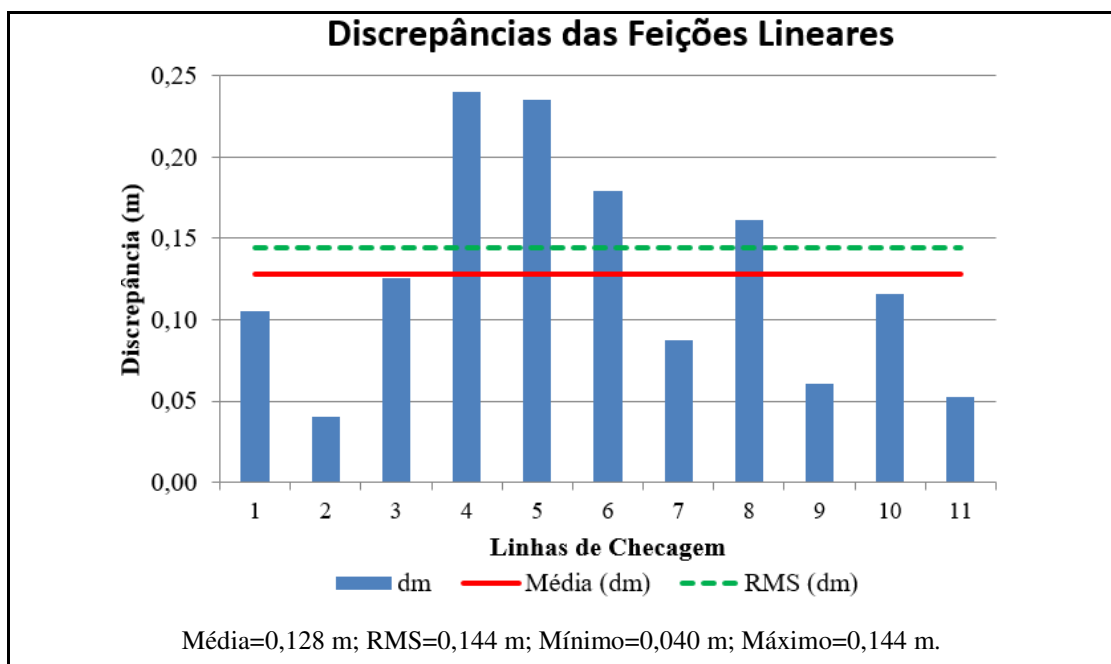
Os resultados gerados a partir da aplicação dos métodos de feição linear e do tradicional de pontos são apresentados nos Gráficos 2.1 e 2.2, em que se possibilita a observação dos valores de: discrepâncias posicionais planimétricas, discrepância média, RMS, valores máximos e mínimos das discrepâncias posicionais observadas na ortofoto, obtida a partir de câmeras de pequeno formato (não métricas) transportadas por um veículo aéreo não tripulado SISVANT.

Gráfico 2.1 – Discrepância posicional planimétrica obtida através do método de pontos utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional



Fonte: O Autor.

Gráfico 2.2 – Discrepância posicional planimétrica obtido através do método de feições lineares (*Buffer Duplo*) utilizado no processo de avaliação da acurácia posicional



Fonte: O Autor.

Nos métodos utilizados para avaliação da qualidade posicional, utilizando feições pontuais e lineares, as amostras de discrepâncias apresentaram normalidade. Utilizou-se o teste de *Shapiro-Wilk*, verificando-se um valor de probabilidade significativo a 5% para todas as amostras analisadas.

O método tradicional (feições pontuais) apresentou valor máximo de discrepância de 0,425 m. Comparando esse valor com o máximo obtido pelo método de feições lineares, de 0,240 m, constata-se que o *Buffer Duplo* apresentou menor valor. Isso se deve ao fato de que, no método de feições lineares é obtida uma discrepância média, o que justifica maior valor “máximo” de discrepância para o método de feições pontuais. Em contrapartida, quando considerados os valores mínimos, observa-se que o método tradicional mostrou um valor de 0,029 m, bem similar com o método do *Buffer Duplo* que apresentou um valor de 0,040 m.

Observou-se que a média e o RMS de ambos os métodos de avaliação foram similares. O método tradicional por pontos apresentou valores de 0,163 m e 0,186 m para média e Rms respectivamente, enquanto o método de feições lineares obteve valores de 0,128 m e 0,144 m.

Ao testar os dois métodos para a Classe A (PEC-PCD) na escala 1:1000 não foi obtida classificação quanto ao Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV. Assim, testaram-se as discrepâncias posicionais pontuais para a Classe B na referida escala de 1:1000. No método de feição linear (*Buffer Duplo*) foi gerado um novo conjunto de discrepâncias médias utilizando como tamanho do *buffer* a tolerância do PEC-PCD para a classe B na escala 1:1000. Deste modo, ambos os métodos atenderam às condições do Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV, enquadrando-se na Classe B para a escala 1:1000, como se pode observar na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV para escala 1:1000 da ortofoto analisada

Método	nº	RMS (m)	%(di) < PEC-PCD	RMS<EP	Tendência	Classificação
Feição Pontual	35	0,186	100%	sim	não	Classe B 1:1000
Feição linear	11	0,144	100%	sim	não	Classe B 1:1000

Fonte: O Autor.

Ao realizar a análise de tendências, verificou-se que tanto as discrepâncias posicionais obtidas pelos métodos de feições pontuais e lineares não apresentaram tendências. O teste *t* de Student foi aplicado ao nível de confiança de 90%. Sendo assim, a ortofoto gerada a partir de imagens obtidas por sensores acoplados à plataforma VANT é acurada posicionalmente para a escala de 1:1000, classe B (Decreto nº 89.817/84 e a ET-ADGV), apresentando discrepâncias médias menores que 20 cm. Tal resultado é satisfatório para a carta cadastral, podendo a ortofoto em questão constituir uma ferramenta cartográfica relevante para diversas aplicações, como o CTM, CAR, Georreferenciamento de Imóveis Rurais, Cadastro para liberação de crédito rural das instituições financeiras etc.

Segundo Nogueira (2008) o CTM no Brasil utiliza cartas com escalas que variam entre 1:1000 e 1:2000. Nesse contexto, o ideal seria que os sistemas de gestão cadastral tivessem seus mapas numa escala 1:1000, o que permitiria sua ligação e confrontação com (SIG) para diversas análises de dados. Portanto, os resultados alcançados foram acurados para a escala 1:1000, apresentando assim uma importante contribuição para o planejamento urbano em geral.

Nesse caso, a aplicação direta dos dados avaliados pode ser direcionada, por exemplo, ao cadastro de parcelas nas escalas 1:1000 (demarcação de postes, telefonia, etc.) e 1:2000 (desapropriações, aumento na largura das vias, etc.). Nota-se, portanto, um aumento na capacidade de identificação e análise dos padrões atuais de uso do solo, da topografia, das mudanças econômicas, da evolução demográfica. Tais aplicações proporcionam também a possibilidade de segurança da propriedade, uma vez que traz transparência aos limites reais, já que as características geométricas do imóvel (limites) são passíveis de verificação em determinadas situações.

Considerando o georreferenciamento de imóveis rurais, observa-se que as maiores discrepâncias encontradas nesse estudo foram da ordem de 0,42 m, o que possibilita a discussões a respeito da aplicação de ortofotos geradas a partir de sensores acoplados em uma plataforma SISVANT para fins de tal atividade, como por exemplo, georreferenciamento de áreas menores que quatro módulos fiscais, que compete ao INCRA a execução e custeio do levantamento. Além disso, como mencionam Dale e Mc Laughlin (1988) as informações confiáveis reduzem ou eliminam as incertezas e ajudam a resolver a análise de conflitos ou litígios de terras.

Outro fator relevante, refere-se ao CAR, que não tem uma tolerância especificada. Assim, a existência de normas, tolerâncias e especificações técnicas seria de suma importância para uma melhor gestão e utilização do CAR, tornando-se indispensável para sua integração ao CTM, buscando assim construir uma base espacial precisa e ao mesmo tempo confiável.

2.6 CONCLUSÃO

No presente trabalho buscou-se avaliar o potencial e a viabilidade na utilização de ortofoto geradas a partir de imagens obtidas por sensores acoplados à plataforma SISVANT para fins de cadastro, analisando puramente a qualidade posicional e geométrica de tais produtos.

Com a avaliação da acurácia posicional da ortofoto, utilizando métodos de feições lineares e pontuais, obteve-se discrepâncias médias similares, da ordem de 20 cm, sendo o produto acurado posicionalmente para a escala 1:1000, em ambos os métodos. Assim, tal produto pode ser utilizado para fins de gestão de serviços rurais tais como: CAR, áreas de assentamento, agricultura familiar, regularização e planejamento ambiental, zoneamento ecológico econômico, identificação de comunidades rurais e georreferenciamento de imóveis rurais.

A possibilidade de utilização da ortofoto, de forma a auxiliar no georreferenciamento foi fundamentada na análise da Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais (NTGIR, 2013), em sua terceira edição, atreladas ao manual técnico de posicionamento e ao manual técnico de limites e confrontantes, disponibilizados pelo INCRA. Tais documentos apresentam a possibilidade de uso de novos métodos de posicionamento para obtenção de limites naturais e inacessíveis através de imagens de sensoriamento remoto.

Nesse contexto, comparando os resultados apresentados para o produto avaliado com valores de precisão posicional estabelecidos por NTGIR (2013), referentes aos vértices definidores dos limites 0,50 m ou superiores para os limites artificiais; de 3 m ou superior para os limites naturais, de 7,5 m ou superior para os limites considerados inacessíveis), observou-se que é possível se realizar o georreferenciamento de um imóvel rural através de uma ortofoto gerada a partir de imagens obtidas por uma câmera embarcada em um SISVANT, mostrando-se viável, principalmente, para identificação/demarcação de limites naturais e limites de difícil acesso.

No entanto, embora atenda os 0,50 m requeridos pela Norma Técnica de Georreferenciamento, vale ressaltar que o problema de visibilidade dos limites compõe uma limitação a aplicação desse procedimento a este tipo de aplicação. Sendo assim, ainda é necessário que se discuta mais sobre a aplicação de ortofoto adquirida a partir de imagens obtidas por sensores embarcados em SISVANT ao georreferenciamento de imóveis rurais.

No que concerne ao Cadastro Ambiental Rural, pode-se afirmar que a utilização de ortofoto oriundas de SISVANT servem como instrumento interessante para a tomada de decisão, à medida que fornece informações com clareza (alta resolução espacial/temporal) e qualidade cartográfica.

Por fim, a partir dos resultados obtidos pela avaliação da qualidade da ortofoto gerada por câmeras de pequeno formato a bordo de um SISVANT, foi possível sinalizar que há de se discutir, sobre as possibilidades de utilização/aplicação desse tipo de dado em diversas temáticas, tais como: descrição geométrica de parcelas, reurbanização de favelas, projetos cadastrais em geral para atualização de bairros, assentamento e projetos de reforma agrária, dentre outros.

Em face aos resultados alcançados, recomenda-se para trabalhos futuros avaliar a qualidade posicional planimétrica de produtos obtidos por levantamento aerofotogramétrico, utilizando sensores embarcados em plataformas SISVANT (ortofotos), variando a quantidades e a configuração de pontos de apoio distribuídos em campo. Propõe-se também, verificar a influência das precisões dos pontos de controle, através de propagação das variâncias, na qualidade da ortofoto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BENTO, M. F. Unmanned aerial vehicles: an overview. **Inside GNSS**, v. 3, n. 1, p. 54-61, 2008.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 10 set. 2015.

BRAZ, A. M.; BORGES, J. P. S.; BERNARDES, D. C. S.; TEREZAN, L. H. Análise Da Aplicação de VANT Na Atualização de Cadastro Florestal Com Uso de Pontos de Controle. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17., 2015, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: Centro de Congressos de João Pessoa, 2015. p. 2751-2758. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0545.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

BRASILEIRO, C. F. **Código Florestal Brasileiro**. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Presidência da República do Brasil, 2012.

CASTEJON, E. F.; FONSECA, L. M. G.; ARCANJO, J. S. Melhoria da geometria e posicionamento de imagens orbitais de média resolução: Um experimento com dados

CBERS-CCD. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu, 2013. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 8043-8045. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.35.12/doc/p1233.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

CHEN, S. E.; RICE, C.; BOYLE, C.; HAUSER, E. Small-format aerial photography for highway-bridge monitoring. **Journal of Performance of Constructed Facilities**. v. 25, n. 2, p. 105-112, 2011.

DALE, P. F.; MCLAUGHLIN, J. D. **Land information management, an introduction with special reference to cadastral problems in third world countries**. 1. ed. Oxford: Oxford University Press, 1988. 266 p. ISBN 0-19-858404-0.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV)**. Brasil, 2011. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_ADGV_Vs_2_1_3.pdf. Acesso em: 27 fev. 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.

EISENBEISS, H. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP ON PROCESSING AND VISUALIZATION USING HIGH RESOLUTION IMAGERY, **Proceedings** [...]. Pitsanulok, 2004, p. 18-20.

FERREIRA, A. M. R. **Avaliação de Câmara de Pequeno Formato transportada por Veículo Aéreo não Tripulado – VANT, para uso em Aerolevantamentos**. 2014. Dissertação (Mestrado Geociências Aplicadas e Geodinâmica) – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2014.

FGDC Content Standard for Digital Geospatial Metadata. Version 2, FGDC-STD-001-1998, Metadata Ad Hoc Working Group, Washington, D.C., 1998. 71 p.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. O uso do GPS no controle de qualidade de cartas. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 1., 1994, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: UFSC, 1994. p. 41-48.

GOODCHILD, M. F. **Foreword**. In Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses, CRC Press. 2010.

HAARBRINCK, R. B.; KOERS, E. Helicopter UAV for photogrammetry and rapid response. *In*: INTERNATIONAL WORKSHOP: THE FUTURE OF REMOTE SENSING, 2., 2006, Antuérpia. **Proceedings** [...]. Antuérpia. 2006. p. 17-18. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.222.4943&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 12 ago. 2015.

KARNAUKHOVA, E.; LOCH, C. Alguns problemas atuais do mapeamento digital. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20.*, 2001. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001.

LALIBERTE, A. S.; HERRICK, J. E.; RANGO, A.; WINTERS, C. Acquisition, orthorectification, and object-based classification of unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for rangeland monitoring. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 76, n. 6, p. 661-672, 2010.

LIMA, E. C. **O Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

LUCIEER, A.; ROBINSON, S.; TURNER, D.; HARWIN, S.; KELCEY, J. Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 39-B1.*, 2012, Melbourne. **Proceedings** [...]. Melbourne, 2012. p. 429-433. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XXXIX-B1-429-2012>, 2012. Acesso em: 05 nov. 2015.

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T.; CERQUEIRA, R. W. O Exército Brasileiro e os Padrões de Dados Geoespaciais para a INDE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO, 4.*, 2012, Recife, p. 1-8. **Anais eletrônicos...** Recife: Hotel Golden Tulip Recife, 2012. Disponível em: https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/042_2.pdf. Acesso em: 01 nov. 2015.

MARENCHINO, D. Low-cost UAV for the environmental emergency management photogrammetric procedures for rapid mapping activities. **Journal Horizon**, Torino, 2009.

MESAS-CARRASCOSA, F. J.; TORRES-SÁNCHEZ, J.; CLAVERO-RUMBAO, I.; GARCÍA-FERRER, A.; PEÑA, J. M.; BORRA-SERRANO, I.; LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 12793-12814, 2015.

NEBIKER, S.; ANNEN, A.; SCHERRER, M.; OESCH, D. A Light-Weight Multispectral Sensor for micro UAV – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 37-B1.*, 2008, Beijing. **Proceedings** [...]. Beijing, p. 429-433. 2008. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.475.5893&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied geomatics**, v. 6, n. 1, p. 1-15, 2014.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: Editora UFSC, 2008. 314 p.

NTGIR **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. Brasília, 3ª Edição, 2013.

PEGORARO, A. J.; PHILIPS, J. W. Quadrirotores/Microdrone como Portadores de Geosensores aplicados ao Cadastro Territorial. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 15., 2011, Curitiba. **Anais eletrônicos...** Curitiba: Estação Convention Center, 2013. p. 8461. Disponível em: <http://mar.te.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.05.18.33/doc/p0521.pdf>. Acesso em: 17 set. 2015.

R CORE TEAM. **R: A Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing, 2014.

ROBERTO, A. J. **Extração de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal**. 2013. Dissertação (Mestrado em Sistema de Informações Geográficas) – Departamento de Geociências, Ambiente e Ordenamento do Território, Universidade do Porto, Porto, PT, 2013.

ROIG, H. L.; FERREIRA, A. M. R.; MENEZES, P. H. B. J.; MAROTTA, G. S. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 9332-9339. Disponível em: <http://mar.te2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.51.59/doc/p1438.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

SANTOS, A. P. **Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais com o Uso de Estatística Espacial**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SANTOS, A. D. P.; MEDEIROS, N. D. G.; SANTOS, G. R.; 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.

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**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, SP, 2014.

TONG, X.; SUN, T.; FAN, J.; GOODCHILD, M. F.; SHI, W. A Statistical Simulation Model for Positional Error of Line Features in Geographic Information Systems (GIS),

International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, v. 21, p. 136-148, 2013.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. An Accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 13, n. 1, p. 27-47, 1999.

CAPÍTULO 3: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE POSICIONAL DE ORTOFOTOS GERADAS POR SISVANT COM DIFERENTES ALTURAS DE VOO PARA APLICAÇÕES CADASTRAIS

Resumo:

Diversos fatores influenciam a qualidade dos produtos cartográficos. Como um caso particular, produtos gerados via SISVANT (ortofotos, modelos digitais, etc.) podem ser degradados por fatores como a qualidade e tipo de veículo aéreo e sensor (ou câmera) utilizados, altura de voo etc. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a acurácia posicional planimétrica de produtos ortofotos, derivadas de aerolevanteamento efetuado por um SISVANT com diferentes alturas de voo. Foi utilizado os métodos de feições lineares (mais especificamente método do *Buffer Duplo*) e feições pontuais, utilizando como referência o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG. Para uma altura de voo de 80 m, através do método de feições pontuais obteve-se acurácia posicional planimétrica para as ortofotos como Classe B na escala 1:1.000, enquanto que pelos métodos de feições lineares as ortofotos foram classificadas como Classe A na escala 1: 1.000. Para as alturas de voo de 150 m e 200 m utilizando ambos os métodos, obtendo classe B. 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, oriundas de aerolevanteamentos efetuados por SISVANT representam uma possibilidade consistente para a determinação de bases cartográficas, com acurácia compatível com as escalas supracitadas para fins de aplicações cadastrais.

3.1 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. (SCHOFIEL; BREACH, 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; SAUERBIER, 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; LI, 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; MAAS, 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 (ortofotos) 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 (CUNHA; ERBA, 2010).

A NBR 14.166 (ABNT, 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.

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 (CUNHA; ERBA, 2010).

Observa-se que os elementos necessários para um CTM exigem escalas específicas e são dependentes de sua finalidade. Neste sentido, Ferreira *et al.* (2013), Barry e Coakley (2013), Mitshita *et al.* (2014) e Alves Junior *et al.* (2015), afirmam que a qualidade de Produtos Cartográficos Digitais (PCD), obtida 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 e Loch (2001), Goodchild (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 nº 89.817, de 20 de junho de 1984 é complementada pela Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) (DSG, 2011) e Especificação Técnica Para Controle de

Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) (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 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 nº. 89.817/84, 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 - *Ground Sample Distance* (GSD) está diretamente relacionado com a altura de voo conforme Equação 3.1 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; PIXEL4D, 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.

$$GSD = \frac{\mu}{f} * H \quad (3.1)$$

Onde: μ é o tamanho do pixel (em μm); f é a distância focal (em mm); e, H é a altura de voo (em m).

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 nº 89.817/84) 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 carta cadastral, cada vez mais frequentes como descrito por Cunha e Erba (2010), além das restrições a que estas impõem. Adicionalmente, este estudo visa determinar em quais elementos do CTM, baseando-se na NBR 14.166 (ABNT, 1998), 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 *Global Navigation Satellite System* (GNSS) e método de posicionamento *Real Time Kinematic* (RTK). 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).

3.2 Materiais e Métodos

A partir dos argumentos acima descritos, faz-se necessária a condução de uma metodologia com finalidade direcionada à proposta apresentada. Nesse contexto, os equipamentos utilizados bem como todos os procedimentos analíticos aplicados são descritos na sequência.

3.2.1 SISVANT empregado e o aerolevante executado

Um hexacóptero, modelo F550, foi usado para a coleta de dados com as seguintes características: multirotor, envergadura de 80 cm, alimentação a bateria, autonomia de voo de 12 min e capacidade de carga 2,8 kg. A câmera é fixada em uma plataforma de giro estabilizadora denominada gimbal, que faz com que o movimento da câmera seja independente.

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. Após a verificação foi executado o plano de voo, sendo que este pode ser realizado de forma automática ou manual. Neste caso, optou-se executar o controle de voo de forma visual e externa a aeronave, ou seja, com uma visão aérea direta.

O equipamento sensor (câmera) utilizado 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. Conforme dito anteriormente o Gimbal, modelo Tarot 2D foi utilizado para garantir a estabilidade tanto na rotação como no sensor embarcado na aeronave.

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 controle localizada em solo, que recebe informações de todos os componentes a bordo da aeronave enviadas pelo sistema de comunicação.

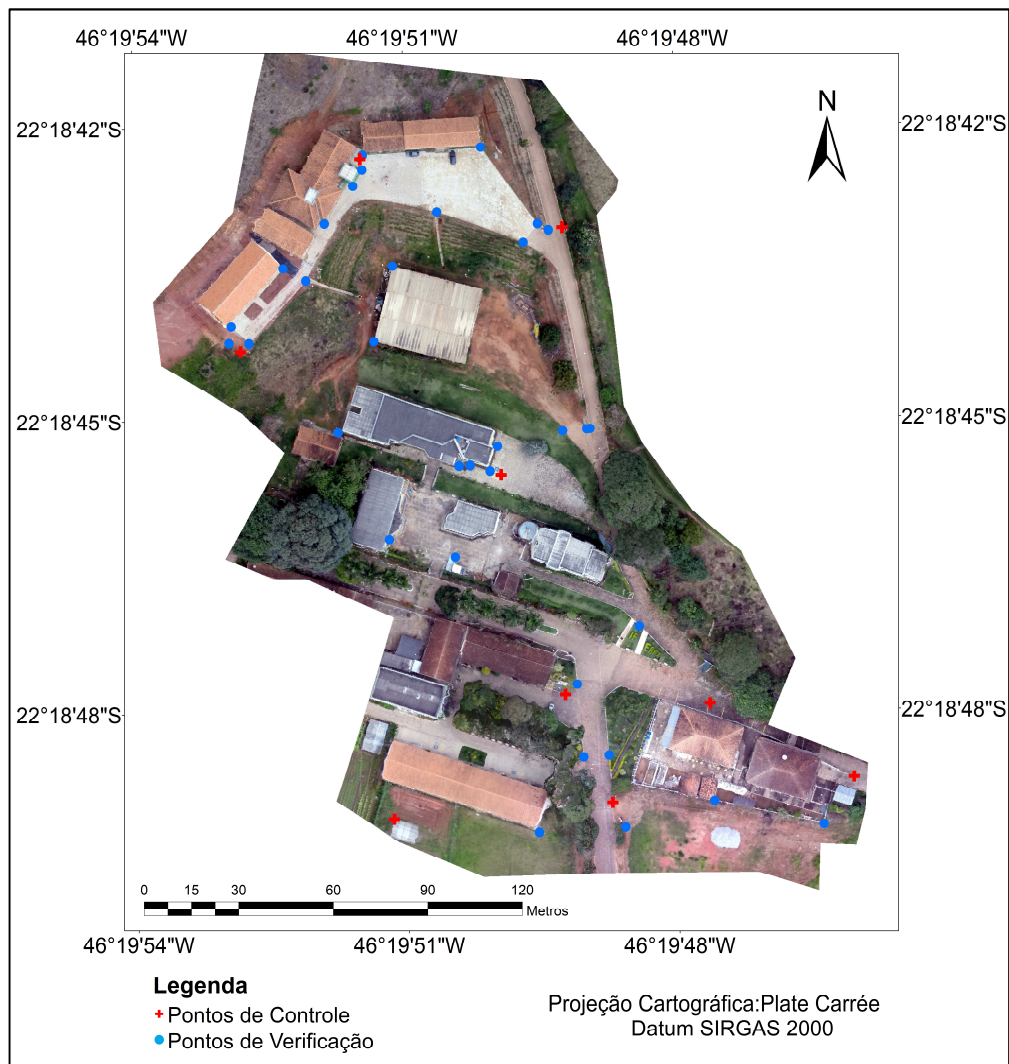
Finalizada a montagem do SISVANT, iniciou-se o planejamento do voo e posterior coleta das imagens. Considerou-se no planejamento do voo um recobrimento da área de estudo (5,3 hectares) com alturas de voo variando de 80 m, 150 m e 200 m em relação à base, com GSD médio de 4,13 cm; 7,75 cm; e, 10,33 cm para as respectivas altura 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.

3.2.2 Avaliação da Acurácia Posicional

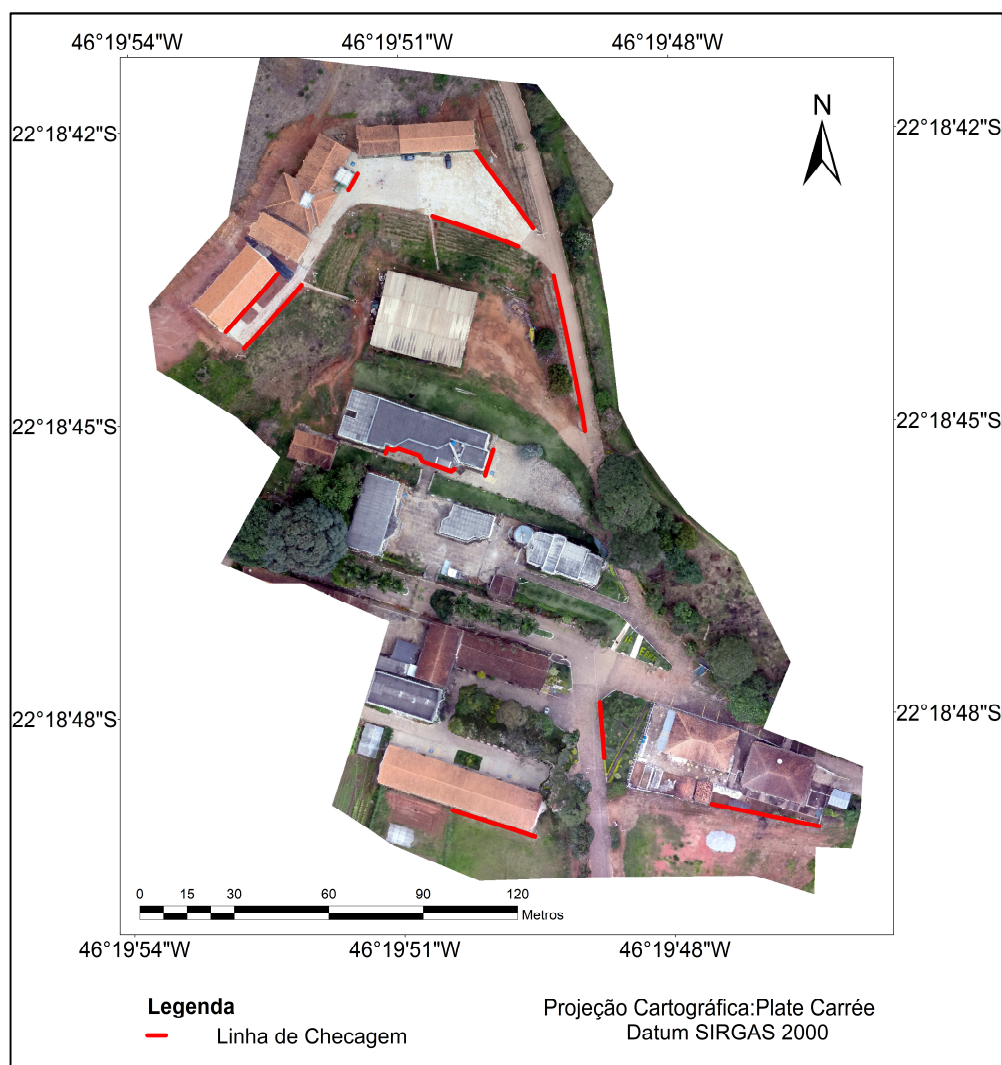
Ao consultar a ET-CQDG, elaborada para a definição de procedimentos destinados ao controle de qualidade dos dados geoespaciais, observou-se que para a área considerada nesse trabalho seriam necessários apenas cinco pontos de verificação. Dessa forma, a confiabilidade da avaliação de acurácia posicional da ortofoto seria comprometida devido ao pequeno conjunto amostral de pontos de verificação. Neste sentido, adotaram-se as recomendações descritas na norma americana *National Standard for Spatial Data Accuracy* (NSSDA) e pela Norma de Execução Incra/DF/02, de fevereiro de 2018, as quais indicam 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 nas Figuras 3.1 e 3.2.

Figura 3.1 – Feições pontuais utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto pelo SISVANT



Fonte: O Autor.

Figura 3.2 – Feições lineares utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional da ortofoto pelo SISVANT



Fonte: O Autor.

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.

Utilizaram-se receptores GNSS de dupla frequência e método de posicionamento (RTK), 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 ortofoto, salientando que todos os processos foram realizados no *software* ArcGIS, versão 10.2. Sobre as feições pontuais foram computadas as discrepâncias posicionais planimétricas e calcularam-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 nº 89.817/84 e a 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 nº 89.817/84 e a ET-CQDG: (i) 90% das discrepâncias posicionais serem menores ou iguais à tolerância PEC-PCD; e (ii) o RMS da amostra de discrepâncias posicionais ser menor ou igual à tolerância EP.

3.3 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, utilizando o software R (TEAM, 2013). Constatou-se que todas as amostras de discrepâncias posicionais apresentaram normalidade ao nível de significância de 5%. 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 2.1.

Optou-se por utilizar as referidas escalas devido a sua recomendação de utilização em diversos produtos relacionados ao CTM, especificados pela NBR 14.166 (ABNT, 1998). Adicionalmente, cabe ressaltar que Cunha e Erba (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 3.1). Nesse caso, estas escalas foram consideradas como referência para a determinação dos parâmetros de qualidade posicional, de forma a tornar as propostas apresentadas nesse trabalho coerentes e relevantes.

Tabela 3.1 – Valores de PEC-PCD e EP para as escalas 1:1.000 e 1:2.000

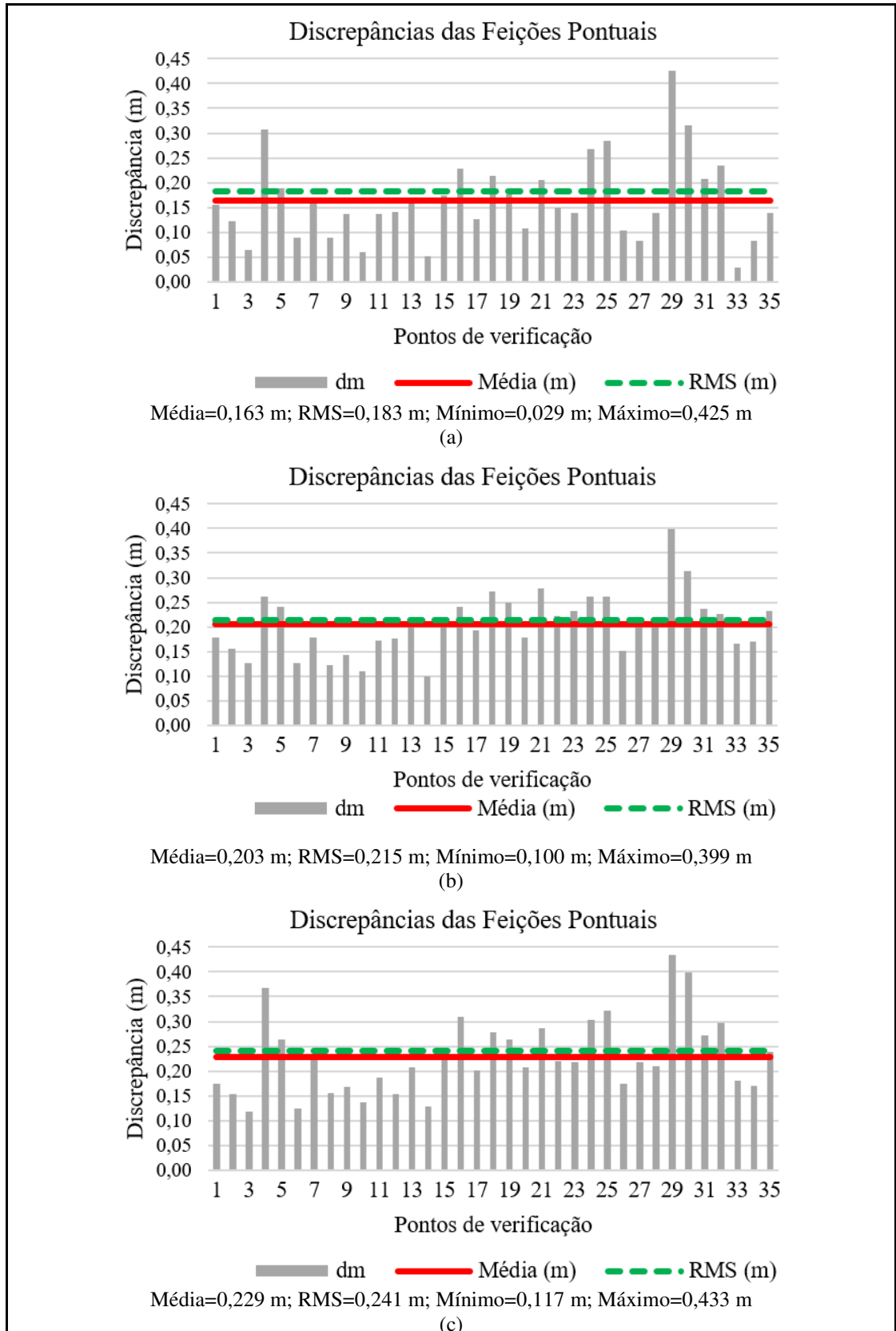
Classe		Planimetria		Escala 1:1.000		Escala 1:2.000	
PEC	PEC-PCD	PEC(mm)	EP(mm)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
	A	0,28 x D	0,17 x D	0,28	0,17	0,56	0,34
A	B	0,50 x D	0,30 x D	0,50	0,30	1,00	0,60
B	C	0,80 x D	0,50 x D	0,80	0,50	1,60	1,00
C	D	1,00 x D	0,60 x D	1,00	0,60	2,00	1,20

Obs.: D corresponde ao denominador da escala utilizada.

Fonte: O Autor.

Considerando as alturas de voo de 80 m, 150 m e 200 m, obtiveram-se os resultados apresentados nos Gráficos 3.1 e 3.2, gerados a partir da aplicação do método de feição linear do *Buffer Duplo* e das feições pontuais. Tais gráficos apresentam os valores de: discrepâncias posicionais planimétricas, discrepância posicional média, RMS, valores máximos e mínimos das discrepâncias posicionais observadas nas ortofotos.

Gráfico 3.1 – Gráficos das discrepâncias 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

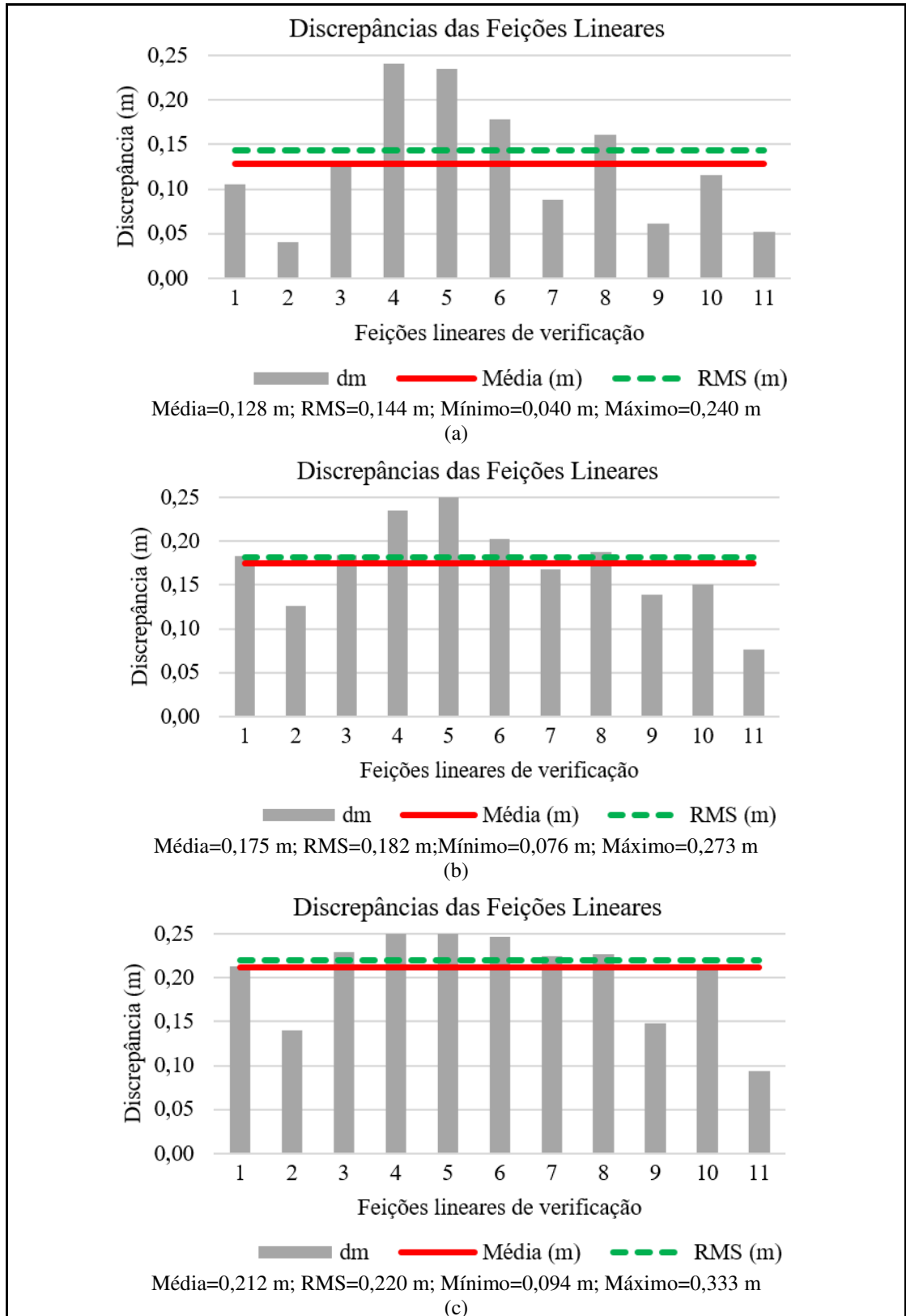


Fonte: O Autor.

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). Observaram-se também uma maior discrepância posicional (de 0,333m) pelo método de feições lineares para a mesma altura de voo de 200m na ortofoto em análise. 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 que o emprego do método de feições lineares fornece 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 e 22,9 cm enquanto o método de feições lineares apresentou variação entre 12,8 cm e 21,2 cm para as alturas de voo de 80 m e 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.

Gráfico 3.2 – 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



Fonte: O Autor.

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 3.2, observou-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.

Tabela 3.2 – Diferença entre valores das médias e RMS dos métodos de feições pontuais e lineares para as diferentes alturas de voo utilizadas

	80 m	150 m	200 m
Média (m)	0,035	0,028	0,017
RMS (m)	0,039	0,033	0,021

Fonte: O Autor.

A partir das ortofotos geradas e respectivas discrepâncias posicionais para os pontos avaliados, foi realizada uma classificação dos produtos com base na escala de 1:1.000 (Tabela 3.3). 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 variação 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 nº 89.817/84 e a 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 3.3.

Como destaca Nogueira (2008) e Cunha e Erba (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 3.4.

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 nº 89.817/84 e a 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 3.4. Também neste caso as diferentes alturas de voo, utilizadas neste trabalho, não influenciaram na classe obtida.

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%.

Conclui-se que as ortofotos analisadas, geradas a partir do SISVANT descrito na subseção 3.2.2 do presente capítulo, são acuradas posicionalmente para as escalas de 1:1.000 e 1:2.000, obtendo as 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 classe A na escala 1:2.000 (Decreto 89.817/84 e a ET-CQDG) para as alturas consideradas (80 m, 150 m e 200 m). Segundo Fonseca Neto et al. (2017), um dos fatores que pode justificar a obtenção da classe A para a escala 1:1.000 pelo método de feição linear referente à altura de 80m é que esse o método de feição linear fornece discrepância posicional média, enquanto que o método de feições pontuais estabelece um valor pontual. Aliado a isso, entende-se que a extração da feição pontual na ortofoto pode ter sido menos assertivo no que tange a identificação do elemento posicional para essa altura de voo de 80 m já que ao realizarmos uma análise visual da ortofoto foi possível encontrar alguns locais em que a ortofoto de menor GSD apresentou pior qualidade visual. Principalmente em algumas regiões próximas aos prédios se comparado com o valor médio obtido pelo método de feição linear referente a feição extraída da ortofoto para essa escala.

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 os descritos na NBR 14.166 (ABNT, 1998).

Tabela 3.3 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:1.000 das ortofotos analisadas

Altura do voo	nº de feições	Método	dp* (m)		Decreto nº 89817/84		Tendência	Classificação Escala 1:1.000
			Média	RMS	%(dp)<PEC-PCD	RMS<EP		
80 metros	35	Feição Pontual	0,163	0,183	100%	Sim	Não	Classe B
	11	Feição linear	0,128	0,144	100%	Sim	Não	Classe A
150 metros	35	Feição Pontual	0,203	0,215	100%	Sim	Não	Classe B
	11	Feição linear	0,175	0,182	100%	Sim	Não	Classe B
200 metros	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.

Fonte: O Autor.

Tabela 3.4 – Classificação de acordo com o Decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escala 1:2.000 das ortofotos analisadas

Altura do voo	nº de feições	Método	dp* (m)		Decreto nº 89817/84		Tendência	Classificação Escala 1:2.000
			Média	RMS	%(dp)<PEC-PCD	RMS<EP		
80 metros	35	Feição Pontual	0,163	0,183	100%	Sim	Não	Classe A
	11	Feição linear	0,128	0,144	100%	Sim	Não	Classe A
150 metros	35	Feição Pontual	0,203	0,215	100%	Sim	Não	Classe A
	11	Feição linear	0,175	0,182	100%	Sim	Não	Classe A
200 metros	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.

Fonte: O Autor.

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 de carta cadastral. Como se observa nos resultados apresentados nas Figuras 3.2 e 3.3 a variação média entre as discrepâncias posicionais apresentadas não foram significativas (da ordem de 4,0 cm) quando associadas às variações na altura de voo (80 m, 150 m e 200 m). Resultados similares foram encontrados por Udin e Ahmed (2014), porém estes utilizaram 4 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 4 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 e Ahmed (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.

3.4 CONCLUSÕES

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 diversos tipos de relevo 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.

As ortofotos consideradas não apresentaram tendência, fato constatado a partir da aplicação do teste *t*, a 10% de significância, independente da altura de voo adotada.

Quando testadas para a escala 1:1.000, todas as ortofotos foram acuradas obtendo assim a Classe B, exceto para o método de feição linear para altura de 80 m, que obteve Classe A. No caso da escala 1:2.000 todas as ortofotos foram acuradas e melhor classificadas, obtendo Classe A. Nesse contexto, pode-se afirmar que as ortofotos consideradas, oriundas de aerolevantamentos efetuados por SISVANT constituem uma possibilidade consistente para a determinação de bases cartográficas, com acurácia compatível com as escalas estudadas para aplicações cadastrais.

Como a qualidade posicional não apresentou diferenças significativas devido a variação adotada para a altura de voo, observa-se que um aerolevantamento 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, demonstrando a eficiência do 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

ABNT. NBR 14.166. **Rede de Referência Cadastral Municipal - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1998.

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: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 40-1/W2 UAV-g, Rostock, 2013. **Proceedings** [...]. Rostock, 2013. p. 27-31. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XL-1-W2/27/2013/isprsarchives-XL-1-W2-27-2013.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2015.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 10 set. 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**, 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: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 37-B1., 2008, Beijing. **Proceedings** [...]. Beijing, 2008. p. 1201-1206. Disponível em: https://www.isprs.org/proceedings/xxxvii/congress/1_pdf/205.pdf. Acesso em: 02 out. 2015.

CUNHA, E. M. P.; ERBA, D. A. **Manual de Apoio – CTM: Diretrizes para a criação, instituição e atualização do cadastro territorial multifinalitário nos municípios brasileiros**. Brasília: Ministério das Cidades, 2010, 170 p., ISBN: 978-85-7958-018-5.

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. 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.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geospaciais (ET-CQDG)**. Brasília, Brasil, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em: 20 nov. 2016.

EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry**. 2009. Tese (Doctor of Sciences) – Institute of Geodesy and Photogrammetry, University of Technology Dresden, Dresden, DE, 2009.

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. Uso de câmeras de baixo custo acopladas a veículos aéreos leves no estudo do aporte de sedimentos no Lago Paranoá. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 9332-9339. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.51.59/doc/p1438.pdf>. Acesso em: 14 set. 2015.

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: <http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>. Acesso em: 10 nov. 2014.

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.

GOODCHILD, M. F. **Foreword**. In Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses, CRC Press. 2010.

HE, J.; LI, Y.; ZHANG, K. Research of UAV Flight Planning Parameters. **Positioning - Scientific Research**, v. 3, p. 43-45, 2012.

INCRA. **Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais n° 02 de 19 de fevereiro de 2018**. 2018. 2 p.

KARNAUKHOVA, E.; LOCH, C. Alguns problemas atuais do mapeamento digital. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, 2001.

KEDZIERSKI, M.; FRYSKOWSKA, A.; WIERZBICKI, D.; NERC, P. Chosen aspects of the production of the basic map using UAV imagery. *In*: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 41-B1, 2016, Prague.

Proceedings [...].Prague, 2016. p. 873-877. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XLI-B1/873/2016/isprs-archives-XLI-B1-873-2016.pdf>. Acesso em: 10 dez. 2016.

LIMA, E. C. **O Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

LIMA, L. A. **Avaliação da técnica de georreferenciamento direto em mapeamento aerofotogramétrico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2016.

LONGHITANO, G. A. **Vants para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

LUHMANN, T.; ROBSON, S.; KYLE, S.; BÖHM, J. **Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging**. 2. Ed. Germany: Walter De Gruyter Inc., 2014, 689 p..

LUNARDI, O. A.; PENHA, A. L. T.; CERQUEIRA, R. W. O Exército Brasileiro e os Padrões de Dados Geoespaciais para a INDE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO*, 4., 2012, Recife, p. 1-8. **Anais eletrônicos...** Recife: Hotel Golden Tulip Recife, 2012.

Disponível em:

https://www3.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/042_2.pdf. Acesso em: 01 nov. 2015.

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 GEOTECH RWANDA*, 2015, Rwanda. **Proceedings** [...]. Rwanda: Kicukiro Centre, 2015. p. 18-20. Disponível em:

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00396265.2016.1268756> Acesso em: 10 dez. 2016.

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*, 26., Gramado. **Anais...** Gramado, 2014.

NOGUEIRA, R. E. **Cartografia: representação, comunicação e visualização de dados espaciais**. Florianópolis: Editora UFSC, 2008, 314 p.

PIXEL4D. **Ground Sampling Distance (GSD)**. 2016. Disponível em: [https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD#gsc%
E2%80%9C%E2%80%9Dtab=0](https://support.pix4d.com/hc/en-us/articles/202559809-Ground-sampling-distance-GSD#gsc%E2%80%9C%E2%80%9Dtab=0). Acesso em: 01 set. 2016.

TEAM, R. CORE. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2013.

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., 622 p., 2007.

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**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.

TAO, C. V.; LI, J. **Advances in mobile mapping technology**. London, Taylor & Francis Group, ISPRS book series n° 4, 381 p., 2007.

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**, 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*: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF THE DIGITAL EARTH, 8., 2014. **Proceedings** [...]. 2014. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/18/1/012027>. Acesso em: 08 nov. 2016.

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

CAPÍTULO 4: AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL DO MDE PROVENIENTE DE SISVANT

Resumo:

A aplicação das técnicas de fotogrametria digital com a utilização dos Sistemas de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANTs) com sensores embarcados tem sido recorrentes para a geração de produtos cartográficos relacionados à modelagem da superfície terrestre, como por exemplo a obtenção de Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Elevação (MDE). Devido a importância de algumas aplicações, não se pode negligenciar a qualidade posicional destes produtos, pois um dado não acurado pode acarretar na realização de análises errôneas, influenciando negativamente os processos decisórios. Nesse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar a acurácia posicional de um MDE gerado através de dados coletados por SISVANT, utilizando o método de feições lineares em diferentes escalas, tendo como referência MDEs advindos de levantamentos com Laser Scanner Terrestre (LST) e receptores GNSS. Foram utilizadas 20 curvas de nível para avaliação planimétrica do modelo e adotado os critérios do PEC-PCD conforme Decreto nº 89.817/1984 e ET-CQGD. Através dos resultados obtidos na avaliação da acurácia posicional, o modelo testado foi classificado nas classes C, B e A nas escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, respectivamente. Os resultados obtidos evidenciam, em termos da qualidade posicional, que o MDE obtido por SISVANT pode ser uma alternativa viável em relação aos métodos tradicionais, para aplicações, por exemplo, inerentes a um Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM).

4.1 INTRODUÇÃO

As geotecnologias têm se beneficiado significativamente pelos avanços tecnológicos, refletindo um crescimento tanto na produção quanto na disponibilidade de dados espaciais. Nesse contexto, cabe ressaltar as significativas melhorias na representação tridimensional da superfície terrestre considerando seus aspectos naturais e artificiais. Dentre os tipos de dados espaciais destinados à modelagem de superfícies pode-se destacar os Modelos Digitais de

Terreno (MDTs), Modelos Digitais de Superfície (MDSs) e Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Evidencia-se que o MDE consiste em uma particularização do MDT (LI *et al.*, 2005).

Um MDE pode ser gerado a partir de dados coletados por diversas técnicas, dentre as quais pode-se citar os levantamentos topográficos convencionais (teodolitos e estações totais), a fotogrametria com integração de sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e INS (*Inertial Navigation System*), a Interferometria com Radar por Abertura Sintética (Interferometria SAR ou InSAR), o Laser Scanner Terrestre (LST), entre outras técnicas. Nesse contexto, a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (SISVANTs) associados a sensores embarcados tem se destacado como alternativa promissora para tal finalidade.

Sendo assim, algumas aplicações de MDEs gerados a partir das técnicas de coleta de dados podem ser observadas em trabalhos com finalidades distintas. Dentre os diversos trabalhos que utilizam SISVANTs destacam-se Sugiura *et al.* (2005) e Gonçalves e Henriques (2015) cuja aplicação consiste no monitoramento do uso e ocupação do solo; Rock *et al.* (2011) com direcionamento à mineração e fiscalização; Roig *et al.* (2013) que analisaram questões relacionadas à segurança e meio ambiente; Mesas-Carrascosa *et al.* (2015) com aplicações relativas ao gerenciamento de colheita; Braz *et al.* (2015) com foco na atualização de cadastro florestal e Fonseca Neto *et al.* (2017) que analisaram a qualidade posicional de ortofotos para aplicações cadastrais. No âmbito de estudos e aplicações do Laser Scanner Terrestre evidencia-se as pesquisas de Ferraz *et al.* (2016) que aborda os principais conceitos, classificação de dados e suas aplicações na geração de MDT; Lopes (2016) que associou dados do LST à elaboração de MDT voltado para projeto geométrico de estrada; Miola *et al.* (2018) que propuseram uma metodologia para registro de dados de LST; Miranda *et al.* (2018) que avaliaram a qualidade de amostragem e interpolação na geração de MDE; Fernandes *et al.* (2017) que propuseram um método de filtragem da nuvem de pontos laser para geração de MDT por Krigagem, dentre outros.

É relevante destacar que os dados oriundos de receptores GNSS podem ser utilizados na geração de MDEs de forma direta (posições obtidas diretamente com métodos de posicionamento por GNSS) ou indireta (quando as posições obtidas de forma direta são utilizadas como insumo para outros processamentos, como por exemplo, no georreferenciamento/orientação de imagens de SISVANT e de nuvem de pontos do LST). Dentre os estudos que utilizam as técnicas integradas (duas ou mais) citam-se: Viana (2017) que analisou a qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por SISVANT e refinados com dados GNSS oriundo de posicionamento RTK (*Real-Time Kinematic*); Souza *et al.* (2017) que procedeu uma análise altimétrica utilizando métodos de posicionamento GNSS e perfilamento

a laser; Cervi *et al.* (2013) que avaliaram as declividades oriundas de um MDE gerado a partir de dados coletados com GNSS no modo RTK; e Schünemann (2016) que aplicou o LST para mapeamento digital na Antártica marítima.

Como se pode observar nos estudos supracitados os MDEs gerados a partir de dados de SISVANTs, LST e receptores GNSS são amplamente aplicados às mais diversas finalidades. Neste contexto, Zanetti *et al.* (2018) destacaram que devido à expansão das novas tecnologias para mapeamentos e compartilhamento de informações espaciais, a utilização do controle de qualidade cartográfica vem se tornando-se cada vez mais importante. Lima (2016) afirma que o controle de qualidade em produtos cartográficos é de extrema importância, pois visa basicamente três aspectos: informação geométrica, temporalidade e aspecto informativo.

De acordo com Santos *et al.* (2016) a avaliação da acurácia posicional tridimensional de dados espaciais pode ser realizada por dois modelos distintos: sendo que no primeiro avalia-se a acurácia posicional das componentes planimétrica e a altimétrica de forma separada, enquanto no segundo utiliza-se a avaliação da acurácia planimétrica e altimétrica simultaneamente (integrada). Os autores também destacam que poucos trabalhos disponíveis na literatura realizaram uma avaliação da acurácia posicional planimétrica em MDE/MDS, em formato *Raster*, para escalas grandes e médias.

Dentre os métodos aplicados para avaliação da acurácia posicional pode-se evidenciar os que utilizam feições pontuais e lineares. No entanto, Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017) destacam que as metodologias que se fundamentam no uso de feições lineares carecem de maiores estudos e aplicações no território brasileiro. A avaliação da acurácia posicional com o uso de feições lineares considera a comparação entre linhas homólogas entre os dados de teste e os de referência, sendo esses métodos, em sua maioria, utilizados com finalidade de avaliar os resultados obtidos a partir de processos de generalização cartográfica.

Entre os métodos que utilizam feições lineares para avaliar a acurácia posicional pode-se destacar o *Buffer Duplo* (TVEITE e LANGAAS, 1999) que apresenta resultados similares quando comparado ao método de feições pontuais (SANTOS *et al.*, 2015).

No entanto, independentemente do método de avaliação de qualidade posicional cartográfica aplicado, deve-se seguir uma norma ou padrão de qualidade. Zanetti *et al.* (2018) destaca que, geralmente, cada país ou organização cria seu próprio padrão de qualidade. No Brasil, as avaliações de acurácia posicional são baseadas no Decreto nº 89.817/84 (BRASIL, 1984), sendo complementadas pela Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016).

Em vista ao exposto, objetivou-se no presente estudo avaliar, isoladamente, a acurácia planimétrica de um Modelo Digital de Elevação (MDE) gerado a partir de dados coletados com SISVANT. Os MDEs adotados como referência nas análises foram gerados a partir dos dados coletados em levantamentos de campo realizados com LST e receptores GNSS. Para a avaliação da acurácia posicional planimétrica empregou-se o método de feições lineares (a partir de curvas de nível), associados às normas supracitadas adotadas no Brasil.

4.2 MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

Conforme Li *et al.* (2005) destacam, a representação em formato digital da superfície terrestre, ou de parte dela, pode ser efetuada de duas formas: por meio de procedimentos numéricos (matemáticos) ou gráficos (pontos, linhas, polígonos). Nesse âmbito, as terminologias utilizadas na modelagem digital de superfícies conforme os autores e adotadas neste trabalho são: Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) e Modelo Digital de Elevação (MDE). Conceitualmente, tais modelos são definidos de forma a possibilitar sua discretização e, conseqüentemente, suas possíveis aplicações.

O MDT consiste em um conjunto ordenado de pontos amostrais que representam a distribuição espacial de vários tipos de informação sobre o terreno. Neste caso, o MDT é associado a um modelo matemático que representa uma informação específica (K) expressa em função das coordenadas planimétricas (X_p, Y_p) de um ponto P qualquer conforme a Equação 4.1 (LI *et al.*, 2005).

$$K_p = f(X_p, Y_p) \quad (4.1)$$

Entende-se portanto que o MDT é genérico, sendo utilizado para representar diversos atributos do terreno, como dados climáticos (temperatura, precipitação, pressão atmosférica), inclinação, geologia, dentre outros. O MDE caracteriza-se como uma particularização do MDT, em que o atributo K representa a altitude do terreno, seja ela relativa à superfície imersa ou emersa, desconsiderando fatores naturais ou antrópicos, como por exemplo, a vegetação ou edificações.

Define-se o MDS como um conjunto de pontos de elevação que representam uma porção da superfície terrestre considerando todas as feições, naturais ou antrópicas, tais como: cobertura vegetal, afloramentos rochosos, edificações, estradas, pontes, dentre outros

Conforme Sopichaki (2016) é crescente a demanda por MDTs em escala de detalhamento, com a finalidade de mapear formas e processos na escala da vertente em diversas áreas do conhecimento, tais como geotecnia, geofísica, pedologia, geomorfologia, avaliação ambiental e avaliação de risco. Sendo que estes são importantes para subsidiar a análise de suscetibilidade a escorregamento de massa, processos nas vertentes, morfologia fluvial, estudos sobre rodovias e canais artificiais, etc.

Em relação aos MDEs, estes contemplam diversas aplicações, auxiliando estudos e/ou operações em que há necessidade de visualização tridimensional da superfície física da Terra, servindo também como insumo para outros processamentos, como por exemplo, a ortoretificação de imagens. Outras finalidades e aplicações que se destacam são a modelagem altimétrica da superfície destinada a obtenção de perfis topográficos, elaboração de mapas de declividade e exposição para apoio à análise geomorfológica e de erodibilidade, dentre outras.

Considerando as diversas aplicações dos MDEs, é pertinente destinar atenção para além dos procedimentos de geração dos modelos digitais, levando em consideração métodos para atestar e garantir a qualidade destes modelos aos usuários do produto.

Os critérios básicos que compõem a qualidade em dados geográficos atrelado as suas componentes e respectivas definições, segundo a ISO:19157 (ISO, 2013), são: acurácia posicional, acurácia temática, acurácia temporal, consistência lógica, completude e usabilidade. Dentre estes, a acurácia posicional é um fator importante, pois analisa o componente espacial que é a base de qualquer produto cartográfico.

Padrões de qualidade posicional destinados aos produtos cartográficos são desenvolvidos por países e organizações considerando as particularidades de cada um. No Brasil, o Decreto n°. 89.817/84 de 20 de junho de 1984 (BRASIL, 1984) complementado pela Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016) norteiam a avaliação da qualidade posicional dos produtos cartográficos.

4.3 PADRÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL BRASILEIRO

A complementação instituída pelas especificações técnicas da INDE ao Decreto nº. 89.817/84 fazem jus à necessidade de se estabelecer novos padrões de qualidade para os produtos cartográficos atuais, fato justificável devido ao avanço tecnológico e à popularização de equipamentos que utilizam dados e informações geoespaciais, atrelados as demandas dos usuários (DSG, 2015). De fato, como destaca Zanetti *et al.* (2018), o Decreto nº. 89.817/84 foi criado em uma época em que a cartografia era analógica e voltado para pequenas escalas. A ET-CQDG surgiu como proposta para uso em produtos digitais, e nesse sentido Santos *et al.* (2015) destacam que essa especificação técnica, em um de seus itens, apresenta os procedimentos referentes à aplicação do Decreto nº. 89.817/84, bem como a criação de uma classe mais restritiva, destinados para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD). Nesta especificação técnica os produtos digitais são classificados em quatro classes (A, B, C e D), devendo ser ressaltado que as classes B, C e D correspondem, respectivamente, às classes A, B e C do Decreto nº. 89.817/84 (DSG, 2016).

Carvalho e Silva (2018) salientam que o PEC-PCD estabelece novas categorias para a planimetria e altimetria, tendo, especificamente, um conjunto de padrões para a classificação de pontos cotados e Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Segundo Brasil (1984), Sztutman (2014), DSG (2015), Santos *et al.* (2015) e Fonseca Neto *et al.* (2017), existem dois critérios que devem ser atendidos simultaneamente para que um produto cartográfico seja classificado quanto ao Decreto 89.817 /84 e de acordo com as especificações técnicas para controle de qualidade de dados geoespaciais (ET-CQDG):

- (i) 90% dos pontos quando testados devem apresentar valores de discrepâncias iguais ou inferiores ao valor do PEC-PCD, em relação à escala e à classe analisada; e
- (ii) O RMS (*Root Mean Square*) da amostra de discrepâncias deve ser igual ou inferior à tolerância do Erro-Padrão (EP) estabelecido pela norma.

A Tabela 4.1 apresenta os valores de planimetria do PEC e EP para cada classe conforme o Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-CQDG.

Tabela 4.1 – Tolerâncias para avaliação da acurácia posicional planimétrica segundo o Decreto nº 89.817/84, em concordância com a ET-CQDG para as escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000

Classe		Planimetria					
		1:1.000		1:2.000		1:5.000	
PEC	PEC-PCD	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)	PEC(m)	EP(m)
	A	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85
A	B	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50
B	C	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50
C	D	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00

Fonte: O Autor.

Santos (2010) argumenta que a medida utilizada para comparar posicionalmente um produto em avaliação é denominada discrepância posicional. Tal discrepância é descrita como a diferença entre a coordenada observada no produto cartográfico (X_{test} , Y_{test} , Z_{test}) e a coordenada de referência (X_{ref} , Y_{ref} , Z_{ref}) para a componente planimétrica (Equação 4.2) ou altimétrica (Equação 4.3).

$$Disc_{2D} = \sqrt{(X_{test} - X_{ref})^2 + (Y_{test} - Y_{ref})^2} \quad (4.2)$$

$$Disc_Z = Z_{test} - Z_{ref} \quad (4.3)$$

Já o RMS (Equação 4.4) é definido como a medida de acurácia que reúne os efeitos de tendência e precisão de uma grandeza (OLIVEIRA, 2011). O modelo matemático para a determinação do RMS é definido como a raiz quadrada do quociente entre o somatório dos quadrados das discrepâncias posicionais (planimétrica ou altimétrica) e o (n) o número de observações.

$$RMS_{Disc_{2D}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Disc_{2D_i})^2}{n}} \quad (4.4)$$

No entanto, Santos *et al.* (2015) ressaltam que a tolerância nos dados de discrepâncias posicionais tem como premissa básica seguir a distribuição normal. Portanto, para utilizar o

padrão de acurácia posicional com base nesse decreto nº 89817/84 e, conseqüentemente, a ET-CQDG, deve-se inicialmente atestar a normalidade da amostra de discrepâncias posicionais. Existem uma quantidade significativa de testes que podem ser utilizados para verificação da normalidade, dentre os quais podem-se citar o Anderson-Darling, Shapiro-Wilk (SW), Komolgorov-Smirnov (KS), Qui-quadrado, Jarque-Bera, dentre outros.

Com relação ao controle de qualidade de dados espaciais, considerando a definição dada por Santos (2010), deve-se avaliar a existência de tendências, ou efeitos sistemáticos, nas discrepâncias encontradas. Salienta-se que ao se utilizar um dado tendencioso pode-se efetuar análises sem consistência, gerando produtos que não condizem com a realidade de campo, influenciando negativamente os processos decisórios. Santos (2010), Lima (2012) e Sztutman (2014) afirmam que, na análise de tendências em dados espaciais, utiliza-se o teste *t* de *Student* quando é verificada a existência de erros sistemáticos na amostra de discrepâncias posicionais, de modo a verificar se a média das discrepâncias posicionais é estatisticamente igual a zero, inferindo assim, se o produto avaliado apresenta tendência ou não em um determinado nível de confiança. Vale ressaltar que o teste *t* de *Student* (teste de hipóteses) pressupõe que a amostra siga a distribuição normal.

Santos (2010) destaca que a produção de modelos cartográficos destinados à representação da realidade terrestre (MDE/MDS), ou o mais próximo dela, tem sido utilizada para fundamentar diversos processos decisórios. Nesse sentido, quanto maior o nível de acerto exigido na tomada de decisão embasada em dados espaciais, maior será o nível de qualidade necessário à base de dados utilizada. Ariza (2002) define qualidade como uma propriedade ou um conjunto de propriedades relacionadas a algo que permita apreciar como igual, melhor ou até mesmo pior que as restantes de sua classe. Portanto, a avaliação da acurácia posicional possibilita determinar a qualidade de produtos cartográficos a partir da aplicação de testes estatísticos, tendo como premissa uma amostra mais acurada como referência (ARIZA *et al.*, 2004). Os procedimentos e tolerâncias a serem utilizados na avaliação da acurácia posicional devem ser aplicados segundo as normas e padrões estabelecidos por países e/ou organizações.

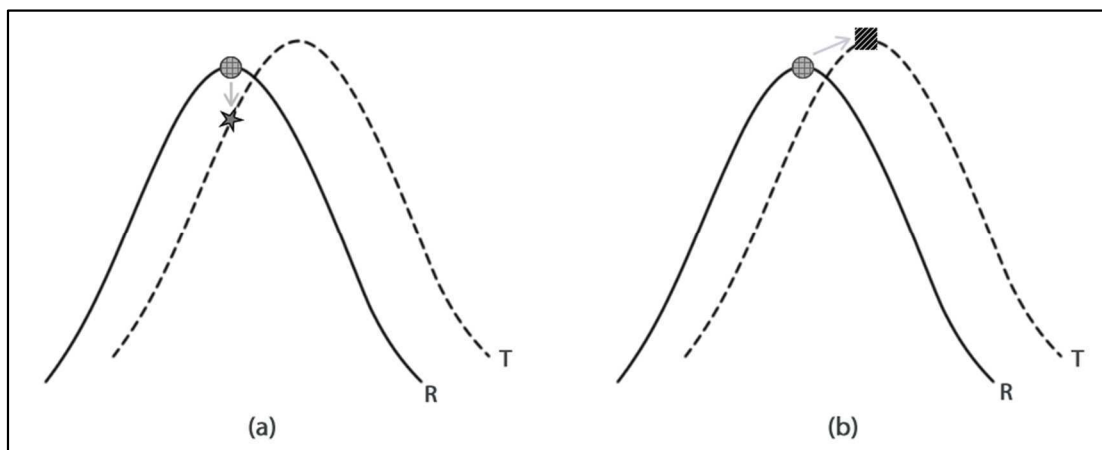
4.4 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL EM MDEs

Conforme Santos *et al.* (2016), as componentes posicionais submetidas na avaliação da qualidade posicional em MDEs podem ser planimétricas (bidimensionais) ou planialtimétricas (tridimensionais). Também são utilizados testes estatísticos em amostra de dados, podendo

estas serem tanto amostra de feições pontuais ou até mesmo feições lineares. Todavia, a avaliação da acurácia posicional planimétrica em dados espaciais é tradicionalmente a mais realizada.

Li *et al.* (2005) e Santos *et al.* (2016) ressaltam que a avaliação da acurácia posicional tridimensional pode ser realizada com o uso de dois métodos distintos: o primeiro que avalia a acurácia posicional planimétrica e altimétrica isoladamente, e o segundo, que utiliza a avaliação da acurácia planimétrica e altimétrica simultaneamente. Ambos os métodos podem ser observados nas Figuras 4.1a e 4.1b respectivamente.

Figura 4.1 – Avaliação da acurácia posicional em MDE: a) avaliação da acurácia posicional apenas vertical; b) avaliação da acurácia posicional vertical da forma correta. MDE teste (T) e referência (R)



Fonte: Santos *et al.* (2016).

Adicionalmente, para ambas as avaliações (planimétrica ou altimétrica) deve-se atender aos critérios de classificação relacionados a uma escala e classe estabelecida pelo Decreto nº 89.817/84 e ET-CQDG.

Destaca-se que neste estudo utilizou-se a avaliação da acurácia planimétrica dos MDEs isoladamente.

4.4.1 Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica

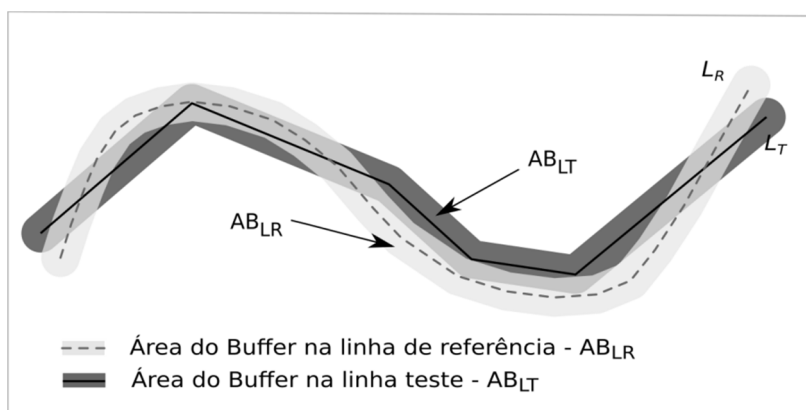
Dentre os métodos utilizados para a avaliação da acurácia posicional planimétrica enfatiza-se neste trabalho os que utilizam feições lineares. Mozas e Ariza (2011) ressaltam que

uma das principais justificativas para a investigação de incertezas utilizando base de dados espaciais por meio de feições lineares consiste no fato de que a maioria dos dados associados a uma base cartográfica têm como primitiva gráfica a entidade linha. Habib *et al.* (2004) complementam que o uso de feições lineares é bastante atrativo, uma vez que feições retas são mais fáceis de serem visualizadas e extraídas numa imagem, até mesmo sob o ponto de vista da extração da feição de forma automática.

Santos *et al.* (2015) afirmam que existem vários métodos de controle de qualidade cartográfica que utilizam feições lineares, porém, não são divulgados com tanta frequência e nem aplicados em estudos aprofundados no Brasil. Os principais métodos que adotam feições lineares são ranqueados em três categorias: 1) os de faixa de incerteza que utilizam uma abordagem estocástica; 2) os de faixa de incerteza que utilizam uma abordagem determinística; e 3) os de métodos determinísticos que realizam análises geométricas. Dentre os métodos da categoria 2, podem-se citar os da Banda Épsilon ou Método das Áreas, os métodos de *buffer* simples e *buffer* duplo. Será utilizado neste estudo o método do *buffer* duplo, tendo em vista que por meio dos bons resultados já foram alcançados nos trabalhos de Santos *et al.* (2015), Fonseca Neto *et al.* (2017), Miranda *et al.* (2018) e Zanetti *et al.* (2018).

A metodologia do *buffer* duplo, proposto por Tveite e Langaas (1999) com denominação inicial de *Buffer Overlay Statistics*, consiste em um aprimoramento do método do *buffer* simples. A aplicação do método *buffer* duplo é caracterizada pela aplicação do modelo da faixa de incerteza nas duas linhas utilizadas (linha de teste (L_T) e linha de referência (L_R)), ou seja, aplica-se um *buffer* em ambas as linhas, e em seguida realiza-se uma interseção entre os polígonos resultantes dos *buffers*, obtendo-se assim uma medida de discrepância média entre as feições lineares, como pode ser observado na Figura 4.2.

Figura 4.2 – Metodologia do método do *buffer* duplo



Fonte: Santos *et al.* (2015).

As discrepâncias médias são calculadas seguindo o modelo matemático apresentado na Equação 4.5, ou seja, multiplica-se o valor de π pela largura do *buffer* (x) e pelo somatório da área do *buffer* da linha de referência que não faz interseção com o *buffer* da linha de teste (A_{fora}), dividido pelo valor da área formada pelo *buffer* da linha teste (AB_{LT}).

$$dm_i = \pi \cdot x \cdot \frac{(\sum A_{fora})_i}{AB_{LT}} \quad (4.5)$$

A partir dos resultados de discrepâncias médias obtidos, é possível avaliar a acurácia planimétrica do dado espacial de interesse. No entanto, Santos *et al.* (2015) ressaltam que o uso de métodos de feições lineares não é definido no Decreto nº 89.817/84 e sugerem que se utilizem as tolerâncias preconizadas pelo o Decreto nº 89.817/84 em conjunto com a ET-CQDG para aplicação do método do *buffer* duplo. Os seguintes critérios podem ser seguidos para aplicação deste método:

- 1) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R).
- 2) Aplicar um *buffer* de tamanho x em cada linha i da amostra de linhas homólogas de teste e referência. Para o emprego do Decreto nº 89.817/84, utiliza-se como tamanho do *buffer* o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação.
- 3) Calcular a área AB_{LT} gerada pela operação de *buffer* em cada linha de teste.
- 4) Fazer uma sobreposição entre os polígonos gerados pelos *buffers* da linha de teste e da linha de referência, e calcular o valor de A_{Fora} referente à área do polígono de referência que não faz interseção com polígono teste ($AB_{LR} - AB_{LT}$).
- 5) Calcular a discrepância média (dm) para cada linha-teste i (Equação 4.5).
- 6) Para análise do Decreto nº 89.817/84, sugere-se verificar a independência e a normalidade, e se constatadas faz-se a análise dos 90% das linhas testadas que apresentam discrepância média (dm) menor ou igual ao valor do PEC (da classe e da escala utilizadas para gerar o *buffer* x) e, ainda, se o RMS das discrepâncias média (dm) é menor ou igual ao valor do EP (idem ao PEC). Sendo as duas condições aceitas, classifica-se o dado espacial de acordo com a classe e escala de interesse.

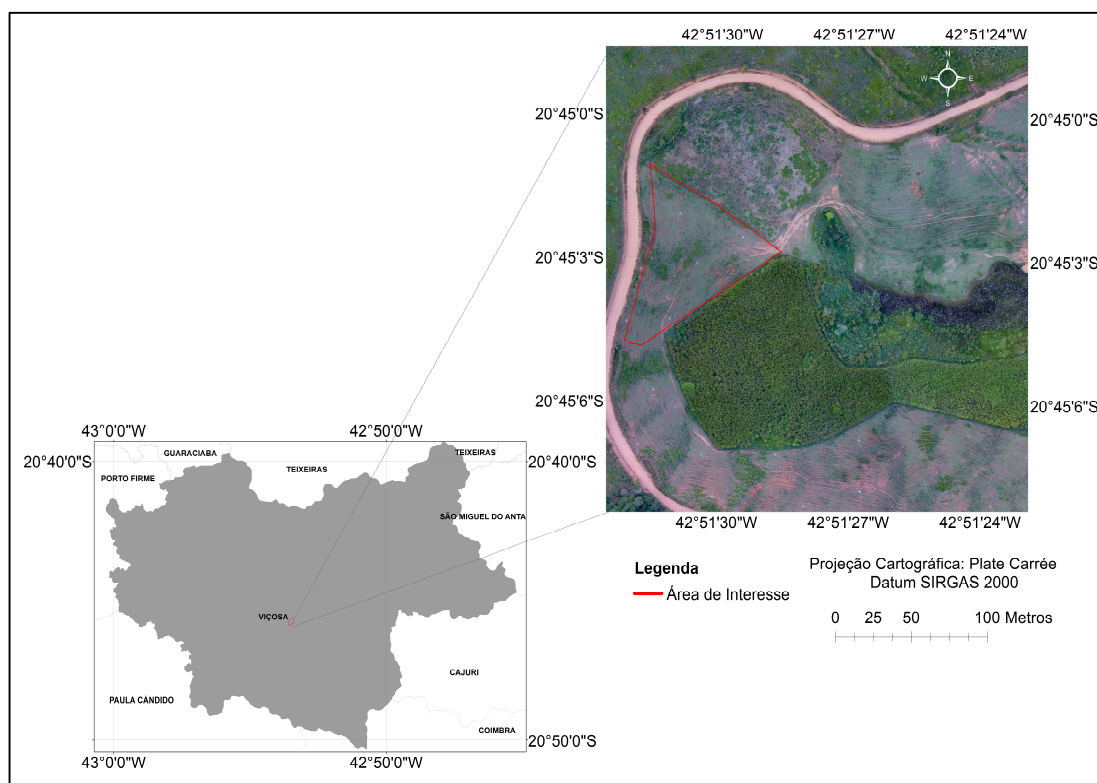
4.5 MATERIAIS E MÉTODOS

Em vista à contextualização supramencionada, experimentos investigativos técnico-científicos foram desenvolvidos com intuito de fundamentar a proposta apresentada. Neste contexto, na sequência é apresentada a área de estudo, os procedimentos e equipamentos utilizados.

4.5.1 Área de estudo

Para a realização deste estudo foi selecionada uma área de aproximadamente 5.800 m², localizada nas proximidades do aeroporto do município de Viçosa-MG, conforme ilustrado na Figura 4.3.

Figura 4.3 – Localização da área de estudo



Fonte: O Autor.

Destaca-se que a área escolhida apresenta um relevo com altitudes variando de 710 a 721 metros e vegetação rasteira, com predominância de pastagem.

4.5.2 Materiais utilizados e Métodos

Utilizou-se para o desenvolvimento desse estudo:

- Dados coletados a partir de levantamento topográfico com receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de dupla frequência, modelos TPS T10 e Javad Triumph-1;
- Dados coletados com Laser Scanner Terrestre (LST) modelo VZ-400 da RIEGL;
- Dados coletados com SISVANT, modelo DJI Phantom 4, com sensor DJI FC 300 X;
- *Software* RiSCAN PRO 2.0 da RIEGL;
- *Software* ArcGIS versão 10.5;
- *Software* Agisoft PhotoScan Professional, versão 1.3;
- *Software* MAPGEO 2015;
- *Software* R, para teste estatístico da normalidade da amostra de discrepância posicional;
- *Software* GeoPEC; e,
- Planilhas eletrônicas.

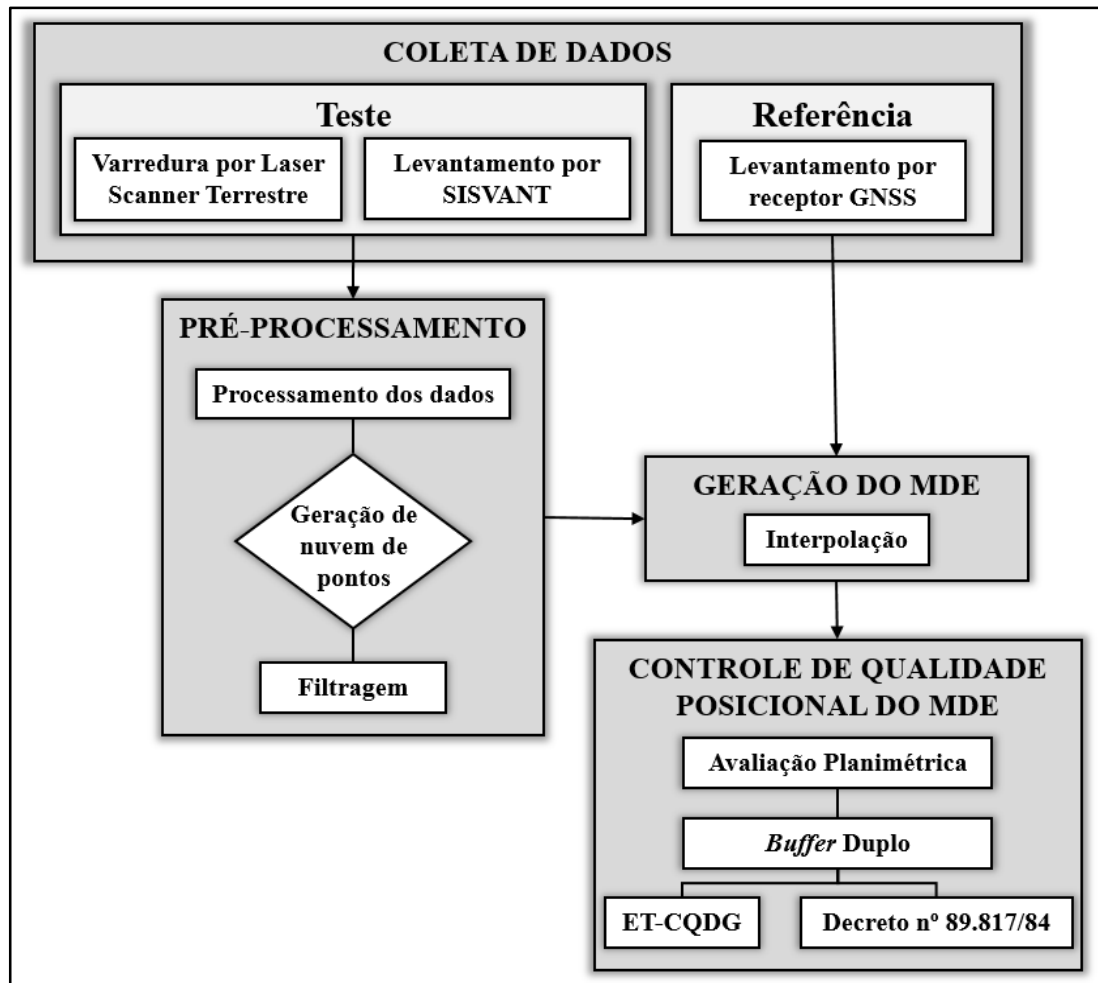
4.5.3 Técnicas de coleta de dados para geração de MDEs

Os avanços tecnológicos na aquisição de dados geoespaciais tem proporcionado aos usuários coletar uma gama de pontos amostrais com significativa resolução espacial, servindo estes como insumo para a geração de MDEs. Dentre as técnicas de coleta de dados geoespaciais destaca-se o SISVANT (Veículos Aéreos Não Tripulados associados a sensores embarcados), Laser Scanner Terrestre (LST) e receptores *Global Navigation Satellite System* (GNSS).

4.6 METODOLOGIA

A metodologia aplicada segue um modelo conceitual representado em forma de um fluxograma geral, buscando descrever, de forma simplificado todas as etapas que foram realizados para a execução deste trabalho (Fluxograma 4.1).

Fluxograma 4.1 – Metodologia empregada



Fonte: O Autor.

4.6.1 Laser Scanner Terrestre – LST

O Laser Scanner Terrestre (LST), também conhecido como um sistema LIDAR (*Light Detection and Ranging*), consiste em uma tecnologia que envolve sensores ativos que podem operar na faixa do espectro eletromagnético do visível até o infravermelho médio (FERRAZ *et al.*, 2016). Tal tecnologia possibilita obter coordenadas tridimensionais de uma dada região, ou superfície de um objeto, a partir de informações refletidas pelos objetos que estão localizados distantes do sensor. Esses equipamentos podem ser instalados em plataformas terrestres, denominado LIDAR, ou aéreas, conhecido como Laser Scanner Aerotransportado (LSA) (SANTOS *et al.*, 2014).

Barber *et al.* (2003) afirma que os dados coletados por sistemas LIDAR são denominados de "nuvens de pontos", que representam os valores das coordenadas X, Y, Z de pontos medidos na superfície do terreno mapeada, bem como um valor de intensidade de retorno do sinal. Tais coordenadas estão referenciadas ao centro de fase do equipamento, cuja definição é dada pela interseção do eixo principal e do seu eixo secundário (FERRAZ *et al.*, 2016).

Existem duas formas de se gerar informações advindas de sistemas de varredura laser. A primeira consiste no sistema de varredura estática, onde o equipamento fica estacionado em um determinado local para coleta de dados, e a segunda forma equivale a sistema de varredura dinâmica, onde o equipamento se movimenta durante a coleta dos dados. Os sistemas estáticos são aqueles cuja aquisição das varreduras é realizada a partir de uma posição estabelecida no terreno. Já os dinâmicos consistem nos sistemas utilizados acoplados a uma plataforma em movimento podendo ser um veículo ou até mesmo uma plataforma aérea (WUTKE, 2006).

Nesse estudo foi utilizado um LST modelo VZ-400 (Figura 4.4), fabricado pela RIEGL (*Riegl Laser Measurements GmbH*) cujas principais características são: ângulo varredura horizontal de 360°; alcance de até 600 m; distância mínima de 1,5 m; acurácia de 5 mm; precisão de 3 mm e uma taxa de medição de até 122.000 pontos/s, tendo como princípio de funcionamento do seu sensor o tempo de retorno do sinal (*Time of Flight* - ToF) (RIEGL, 2018).

Figura 4.4 – Laser Scanner terrestre modelo VZ-400, da RIEGL



Fonte: RIEGL (2018).

A coleta dos dados foi realizada utilizando o modo de varredura *High Speed*, com resolução angular de 0,04° (*Angle measurement resolution* = 0,04°), correspondente a uma resolução espacial de 7,0 mm para uma distância de 10 m do equipamento, em modo estático com a taxa de aquisição de dados na ordem de 125.000 pontos por segundo, com distâncias de até 350 m.

Com o intuito de obter pontos que melhor representa-se as características do relevo e da vegetação da área de estudo, o equipamento foi posicionado em vinte posições distintas com tempo médio de 30 minutos para cada varredura.

As coordenadas tridimensionais georreferenciadas das posições do LST foram obtidas no pós-processamento dos dados rastreados com o receptor GNSS modelo Triumph-1 da JAVAD com taxa de rastreo de cinco segundos.

O pós-processamento dos dados GNSS foi efetuado utilizando o software LGO (*Leica Geo Office*) com o método relativo estático, adotando a estação VICO da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) como base. As linhas de base utilizadas foram curtas, de aproximadamente 1,5 quilômetros da área de estudo.

4.6.2 Sistema de veículo aéreo não tripulado com um sensor embarcado – SISVANT

O SISVANT utilizado neste trabalho é composto de uma plataforma de voo DJI Phantom 4 com uma câmera DJI FC 300 X embarcada para aquisição das imagens.

De acordo com DJI (2018) a plataforma DJI Phantom 4 apresenta as seguintes características: equipamento multirotor (quadricóptero), sensores infravermelho em ambos os lados para evitar obstáculos nas quatro diferentes direções, envergadura de 55cm, alimentação a bateria, alcance de rádio (*ground station*) de 7 Km, sistema de transmissão de vídeo, autonomia de voo de 27 minutos e capacidade de carga de 1,368 kg (bateria e câmera). Além disso, conta também com um receptor GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para posicionamento absoluto via código (navegação), uma bússola e um sistema inercial (Figura 4.5).

Figura 4.5 – Câmera, VANT Phantom 4 e controle com o smartphone



Fonte: DJI (2018).

O sensor (câmera) embarcado DJI FC 300 X possui dimensão de uma polegada é acoplado ao suporte gimbal integrado e utilizado para aquisição de imagens com resolução de doze megapixels, podendo ser previamente programado para coleta de imagens em intervalos de tempo pré-definidos. Nesse estudo optou-se por configurar a captura das imagens para intervalos consecutivos de dois segundos. Maiores informações sobre o SISVANT utilizado podem ser consultadas em DJI (2018).

A comunicação entre o sistema de controle de voo usuário/SISVANT é estabelecida a partir da transmissão de sinais de rádio a um receptor embarcado. Como descrevem Fonseca Neto *et al.* (2017), o procedimento de controle de voo neste tipo de equipamento é visual e externo a aeronave, com uma visão aérea direta. Nesse caso, todo o processo é manipulado via rádio controle e executado pelo piloto de forma visual e, quando estiver fora do campo de visão pode ser manipulado utilizando a estação base. O monitoramento e controle do voo fotogramétrico são efetuados a partir de um sistema de comunicação que envia as informações de todos os componentes a bordo para uma estação de recepção localizada em solo. Sua capacidade de programação de voo sugere planejamentos de rotas que podem ser executados de forma manual ou automática.

Após a montagem do SISVANT foi efetuada a verificação do funcionamento de todos os equipamentos (SISVANT, smartphone e rádio controle) com posterior planejamento de voo e coleta de imagens. O plano de voo foi elaborado utilizando o software DJI GO instalado em um smartphone com sistema *Android*. Foram considerados como critérios para o planejamento do voo: recobrimento de uma área total de aproximadamente 18 hectares; altitude de voo de 100 m em relação a base; *GSD (Ground Sample Distance)* médio de 5,2 cm e sobreposições longitudinal e lateral equivalente a 80% e 75% respectivamente.

Para melhorar a acurácia do modelo gerado no processamento fotogramétrico das imagens (aerotriangulação) coletou-se quarenta (40) pontos identificáveis (alvos) no campo, sendo trinta (30) pontos considerados como pontos de controle e dez (10) como pontos de checagem. As coordenadas geodésicas dos pontos foram coletadas em campo com um receptor GNSS modelo TPS 10 e método de posicionamento RTK (*Real Time Kinematic*). Os pontos levantados apresentaram uma precisão posicional planimétrica entre 0,4 cm e 1,1 cm e vertical entre 1,2 cm e 2 cm.

4.6.3 Global Navigation Satellite System - GNSS

A tecnologia GNSS tem sido amplamente empregada na coleta de dados geoespaciais. Dentre os métodos de posicionamento GNSS, o presente estudo empregou o método relativo estático e RTK (*Real Time Kinematic*) para o levantamento de informações posicionais na área de estudo.

No método de posicionamento relativo estático, tanto o receptor da estação base (estação de referência) quanto o da estação *rover* (estação móvel), devem permanecer estacionados (estáticos) durante todo o levantamento (INCRA, 2013). Neste método, a sessão de rastreamento se estende por períodos maiores que vinte minutos.

Em termos práticos, o posicionamento RTK tem seu funcionamento fundamentado no posicionamento em tempo real de uma estação móvel (*rover*) através das correções diferenciais geradas na estação de base. A transmissão dos dados para a estação *rover* é de extrema importância e pode ser efetuada via link de rádio, celular ou algum outro tipo de sistema de comunicação (MONICO, 2008). Nesse caso, o RTK proporciona o conhecimento instantâneo (em tempo real) de coordenadas precisas dos pontos levantados (INCRA, 2013).

Maiores detalhes sobre os métodos de posicionamento GNSS podem ser consultados em Seeber (2003), Leick (2004), Monico (2008), Hofmann-Wellenhof *et al.* (2008).

O equipamento utilizado nesta etapa foi o GNSS RTK TPS T10 apresentado na Figura 4.6, cujas características principais são: receptores de dupla frequência (L1/L2), capacidade de rastreamento de sinais dos sistemas GPS, GLONASS, GALILEO e BEIDOU, rádio interno de dois watts na base/rover, alcance de rádio interno de vinte e cinco quilômetros em condições de visibilidade, etc. (TOPOMAP, 2018).

Figura 4.6 – GNSS RTK TPS T10



Fonte: TOPOMAP (2018).

Durante o levantamento de dados foi utilizada uma janela de rastreamento de sete horas em modo estático e dupla frequência, cuja finalidade foi o transporte de coordenadas para a estação base instalada na área de interesse (marco de referência). Os dados brutos obtidos pelo levantamento dos pontos foram pós-processados utilizando *software* LGO (*Leica Geo Office*), adotando a estação VICO da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS) como base no processamento.

Como descreve Santos *et al.* (2011) a implantação de um marco de referência na área de estudo visa fornecer um referencial geodésico unívoco, fixo e relativamente estável no tempo. Evidencia-se que as coordenadas geodésicas do marco de referência da área de estudo foram determinadas pelo método de posicionamento relativo estático, com janela de rastreamento de sete horas, como anteriormente citado. A partir do marco geodésico, realizou-se o levantamento dos pontos de interesse com o método de posicionamento RTK.

Adicionalmente, destaca-se que os receptores GNSS também foram utilizados para georreferenciar os alvos previamente sinalizados no terreno (pontos de controle e checagem), além do uso para orientação das aerofotos obtidas pelo SISVANT, e georreferenciamento da posição de varredura do LST.

4.6.4 Pré-processamento dos Dados

Nesta etapa, foi realizada a preparação e homogeneização dos referenciais das três técnicas de coletadas de dados supracitadas. De posse destes dados, deu-se início ao processamento para a geração da nuvem de pontos do modelo digital de superfície para posteriormente gerar o modelo digital de elevação, através dos filtros específicos tanto do *software* Agisoft PhotoScan quanto do *software* Riscan Pro.

Neste estudo de caso foi gerado um MDE a partir de pontos coletados com receptor GNSS e dispositivo RTK da área de interesse e da filtragem das nuvens de pontos geradas pelas tecnologias de modelagem SISVANT e LST. A classificação e filtragem da nuvem de pontos baseiam-se no ângulo, altura e distância de cada ponto para que se diferencie a superfície ou seja, o relevo das demais feições (árvores, vegetação e prédios). Sendo assim, ao analisar o ângulo ou a altura entre o plano horizontal e o vetor, caso este seja maior que o limite estipulado o ponto mais alto é retirado (SITHOLE; VOSSELMAN, 2003).

4.6.5 Geração do MDE

De posse das nuvens de pontos obtidas pelas três técnicas de levantamentos (GNSS, LST e SISVANT) e filtradas a nível da superfície do terreno, foram gerados os MDEs referente a cada técnica. Aplicou-se o interpolador *topo to raster* do *software* ArcGIS para a geração dos modelos devido aos bons resultados encontrados por Miranda *et al.* (2018). Todos os MDEs foram gerados com os tamanhos das células de saída homogêneos, correspondente a 0,06 m de resolução espacial.

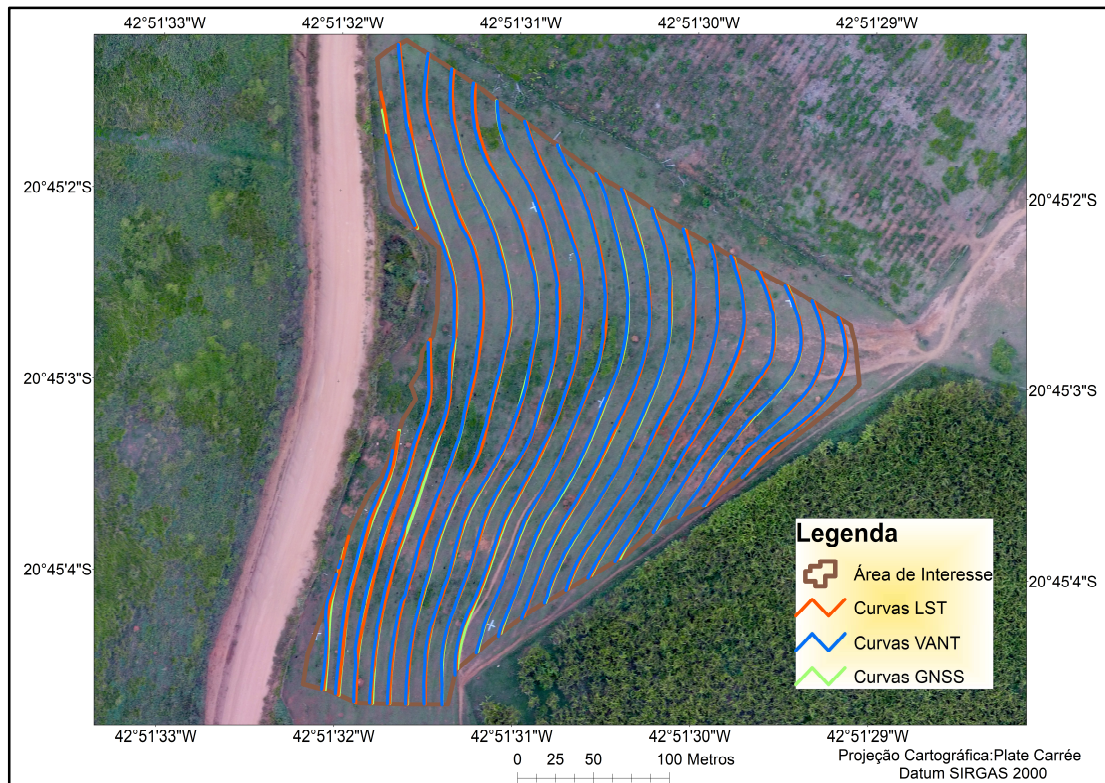
4.6.6 Avaliação da acurácia Posicional do MDEs

Para a avaliação da acurácia posicional planimétrica dos MDEs foram utilizados um conjunto de curvas de nível selecionadas de cada modelo gerado. As escalas de teste foram 1:1000, 1:2000 e 1:5000.

Na avaliação da acurácia foi realizada a análise de tendência e precisão dos modelos, sendo os resultados classificados de acordo com o PEC-PCD, conforme tolerâncias estabelecidas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG (2011) na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), que estabelece os critérios para que um produto digital possa ser aceito como produto de referência do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), e conseqüentemente para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE). As tolerâncias determinadas pelo PEC-PCD complementam as estabelecidas, para produtos impressos, do Decreto nº 89.817/84.

De posse dos MDEs deu-se início aos procedimentos para a análise da acurácia posicional planimétrica como descrito anteriormente. Destaca-se que a análise da acurácia posicional planimétrica foi efetuada fundamentando-se no uso de feições lineares, com o método do *buffer* duplo. Utilizou-se como feições lineares 20 curvas de nível extraídas de cada um dos MDEs gerados, conforme pode ser observado na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Curvas de nível extraídas dos MDEs gerados com equidistância de 1,0 m



Fonte: O Autor.

Como destacam Santos *et al.* (2016), não existe consenso perante a comunidade científica quanto ao número de elementos em uma amostra de avaliação utilizada no controle de qualidade cartográfica, principalmente quando se trata na abordagem por feições lineares, sendo este assunto carente de pesquisas. Nesse contexto, foram utilizadas 20 curvas de nível como feições lineares na avaliação da acurácia posicional planimétrica dos MDEs. Após a utilização do Buffer Duplo, obtém-se uma amostra de discrepância posicionais planimétricas.

De acordo com Lima (2012) e Sztutman (2014) a análise de tendência em dados espaciais pode ser averiguada 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.

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

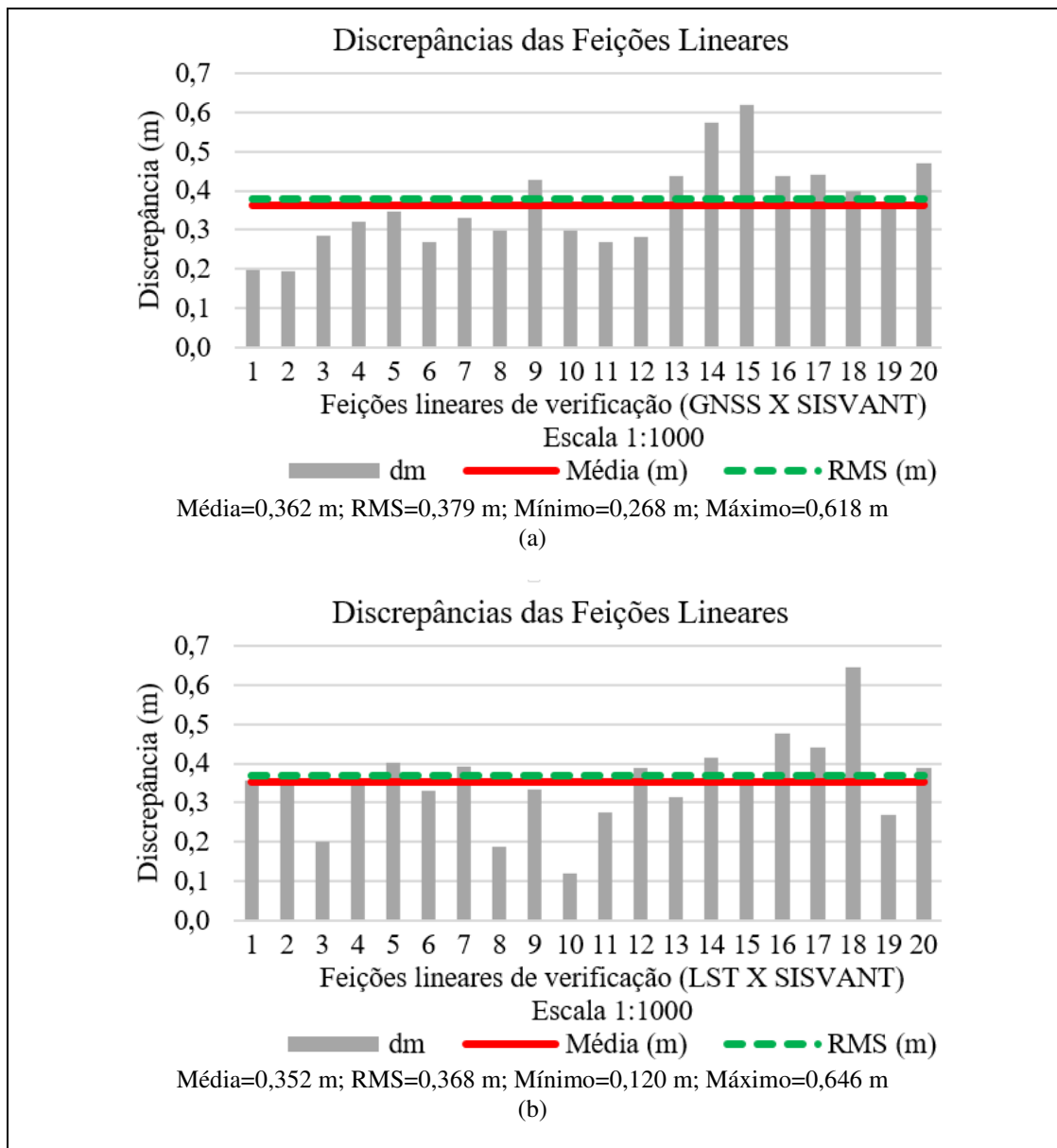
O método do *Buffer Duplo* está estritamente relacionado com a tolerância definida no PEC em função da classe e escala testada. Assim, aplica-se, por analogia, o Decreto nº 89.817/84 apenas para a classe e escala correspondentes a esta tolerância. Se a classificação não for aceita, utiliza-se o *Buffer Duplo* com outra tolerância do PEC, gerando uma outra amostra de discrepância.

A normalidade dos conjuntos amostrais de discrepâncias posicionais planimétricas determinadas pelos métodos de feições lineares foi verificada a partir da aplicação do teste de Shapiro-Wilk (ROYSTON 1982a; ROYSTON, 1982b; ROYSTON, 1995) utilizando o *software R* (R CORE TEAM, 2018). Constatou-se que todas as amostras de discrepâncias posicionais apresentaram normalidade ao nível de significância de 5%. Confirmada a normalidade, procedeu-se à avaliação da acurácia posicional das curvas de nível de cada modelo.

De posse do conjunto de curvas de nível selecionadas, tanto nos MDEs de referência quanto no MDE de teste, aplicou-se o método de avaliação da acurácia posicional do *Buffer Duplo* empregando o padrão de acurácia posicional do Decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-CQDG com valores de tolerâncias correspondentes às escalas de teste (1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000), conforme apresentadas na Tabela 4.1.

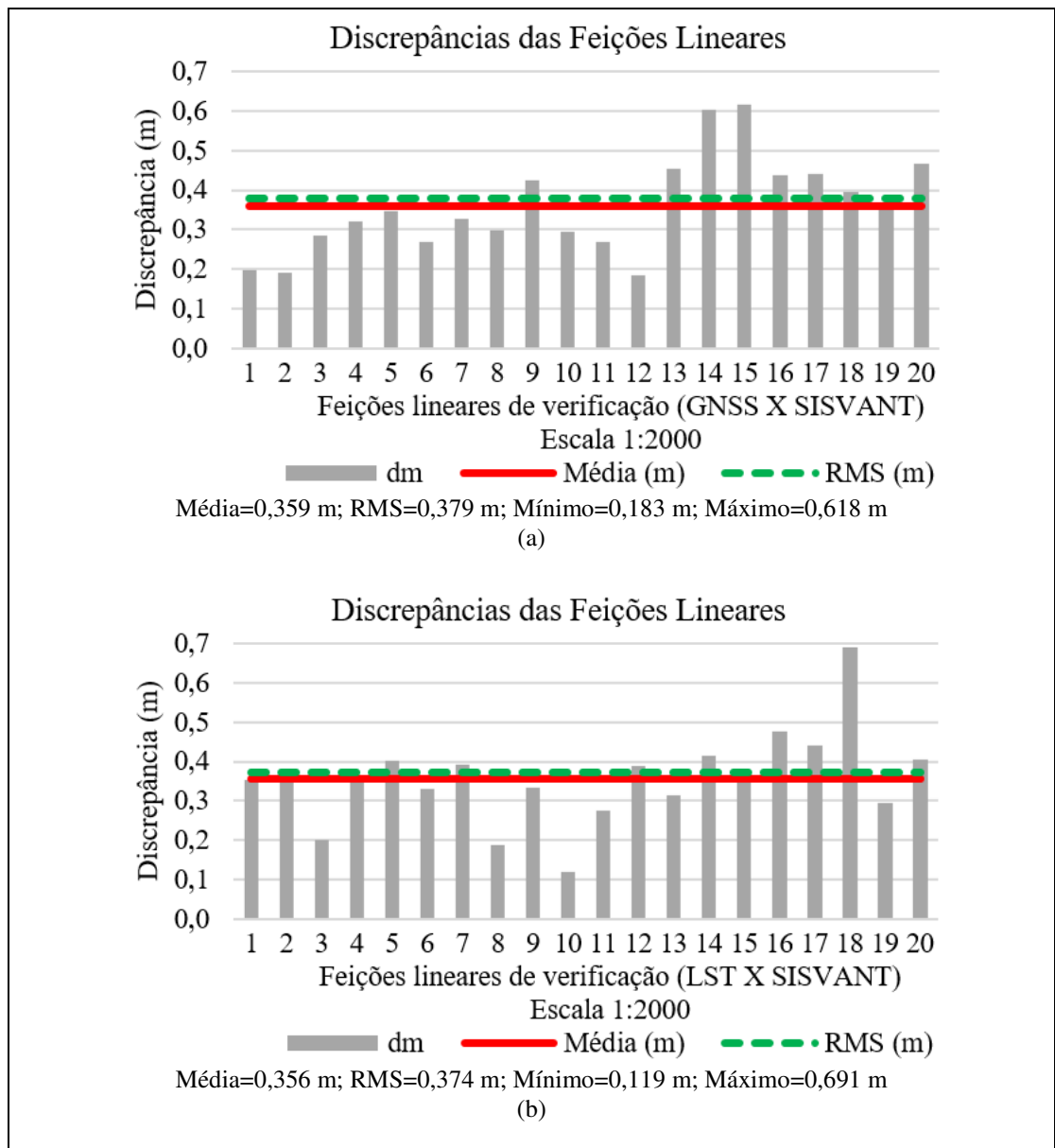
A partir dos valores das tolerâncias estabelecidas para as escalas consideradas nesse estudo, definiu-se a largura do *buffer* para a determinação das discrepâncias médias planimétricas associadas ao método do *buffer duplo*, referentes ao MDE testado. Os valores obtidos de discrepâncias médias entre os MDEs de referência (GNSS e LST) e teste (SISVANT) para as escalas testadas são apresentados nos Gráficos 4.1, 4.2 e 4.3.

Gráfico 4.1 – Discrepâncias médias calculadas com o método do *buffer* duplo: a) comparação GNSS x SISVANT; b) comparação LST x SISVANT para a escala 1:1000



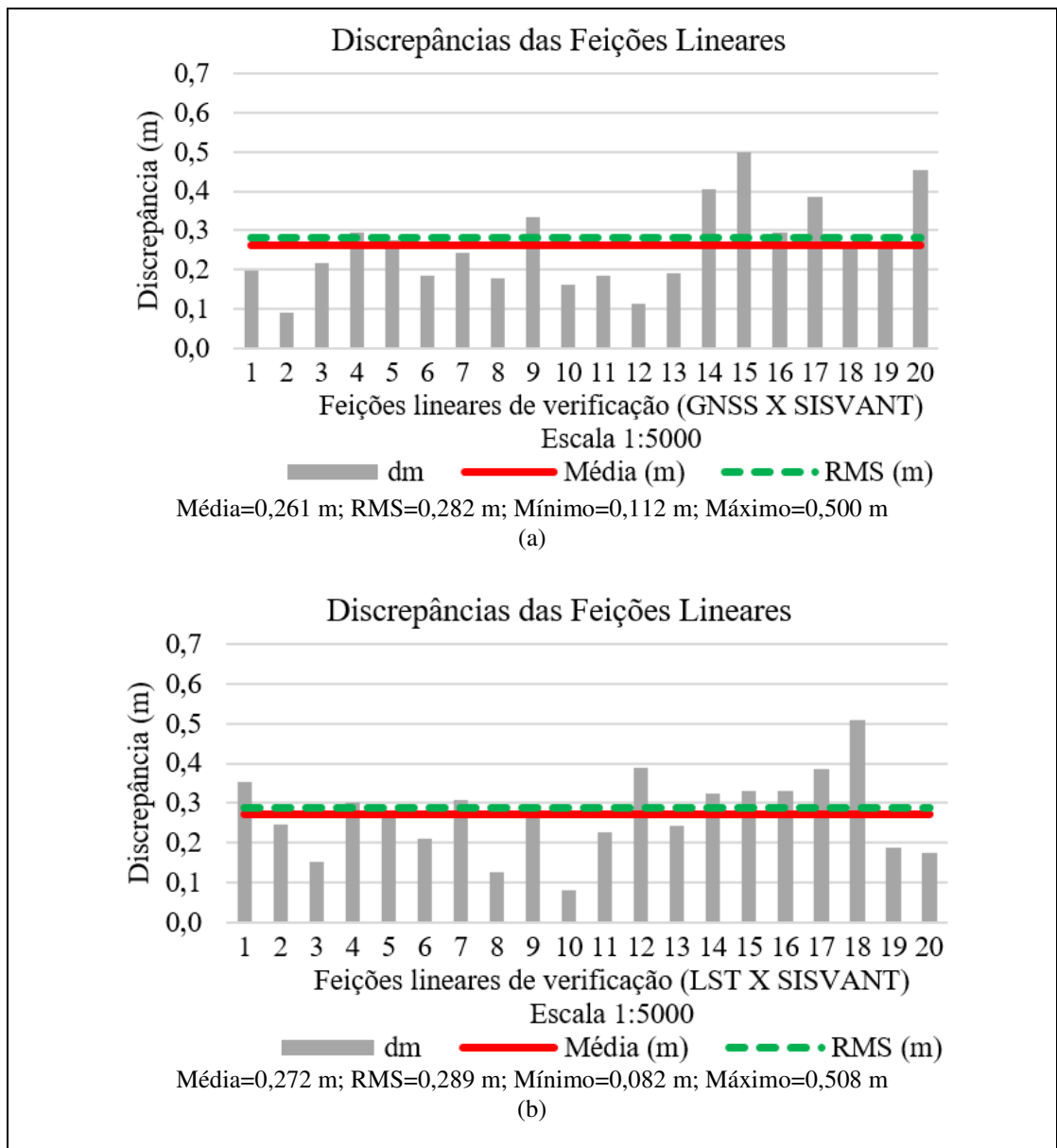
Fonte: O Autor.

Gráfico 4.2 – Discrepâncias médias calculadas com o método do buffer duplo: a) comparação GNSS x SISVANT; b) comparação LST x SISVANT para a escala 1:2000



Fonte: O Autor.

Gráfico 4.3 – Discrepâncias médias calculadas com o método do buffer duplo: c) comparação GNSS x SISVANT; d) comparação LST x SISVANT para a escala 1:5000



Fonte: O Autor.

Pode-se observar que foi gerada um conjunto de discrepâncias posicionais médias (*dm*) com um valor maior na comparação entre os MDEs do GNSS e SISVANT para a escala 1:1000, conforme Gráfico 4.1a. Isso pode ser justificado devido ao GNSS proporcionar a coleta dos dados diretamente no terreno.

Em relação as discrepâncias planimétricas, observou-se que o valor máximo de discrepância posicional foi apresentado na feição de número 15 (0,618 m) quando utilizado o MDE do GNSS como referência para a escala 1:1000. Esta mesma feição (15) apresentou valor de discrepância posicional de 0,367 m quando se considerou como referência o MDE do LST.

Adicionalmente, o valor máximo de discrepância posicional apresentado para este último caso foi de 0,646 m.

Já a média das discrepâncias posicionais (*dm*) observada na comparação entre os MDEs do SISVANT e GNSS teve um valor maior para a escala 1:2000 quando comparado com as escalas 1:1000 e 1:5000, conforme Gráfico 4.2a.

De posse dos modelos observa-se ainda um valor de discrepância posicional de 0,500 m de acordo com os resultados apresentados para o método de feições lineares utilizando o MDE do GNSS como referência para a escala de 1:5000.

Considerando o MDE gerado com GNSS como referência para a avaliação da acurácia posicional planimétrica do modelo gerado por SISVANT, pode-se observar que o modelo de teste obteve classe C, B e A para as escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000 PEC-PCD respectivamente (Tabela 4.2). Para a escala 1:1000 a melhor classificação planimétrica obtida foi para a classe C e, nesse contexto, algumas aplicações dependentes de acurácia planimétrica podem ser efetuadas a partir do MDE gerado com o SISVANT, tais como: pré-projeto geométrico de estradas, modelagem do fluxo de água, análise para suscetibilidade a movimento de massas, avaliação de riscos naturais, extração de declividades e outros. Para as escalas 1:1.000, 1:2.000, cujas classificações foram C e B, aplicações voltadas à delimitações de áreas inacessíveis, controle de inundações, análise prévia de áreas de risco e outros.

Tabela 4.2 – Classificação planimétrica do MDE teste (SISVANT) de acordo com o decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, considerando o levantamento realizado com o receptor GNSS como referência, e tendo o número de linhas igual a 20 feições lineares

<i>Buffer</i> (m)	Discrepância Posicional (m)			Decreto nº89817/84		Escala - Classificação
	Média	RMS	desv. pad.	%(dp)<PEC-PCD	RMS<EP	
0,8	0,362	0,379	0,110	100%	sim	1:1.000 - C
1,0	0,359	0,379	0,119	100%	sim	1:2.000 - B
1,4	0,261	0,282	0,107	100%	sim	1:5.000 - A

Fonte: O Autor.

Quando se utiliza o MDE gerado com LST como referência para a avaliação da acurácia posicional planimétrica do MDE gerado por SISVANT, nota-se que este alcançou a mesma

classificação obtida quando considerando o MDE gerado com GNSS como referência (Tabela 4.3). Neste sentido, aplicações similares as já citadas anteriormente podem ser efetuadas.

Tabela 4.3 – Classificação planimétrica do MDE teste (SISVANT) de acordo com o decreto nº 89.817/84 e a ET-CQDG para escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, considerando o levantamento realizado com o LST como referência e tendo o número de linhas igual a 20 feições lineares

Buffer (m)	Discrepância Posicional (m)			Decreto nº89817/84		Escala - Classificação
	Média	RMS	desv. pad.	%(dp)<PEC-PCD	RMS<EP	
0,8	0,352	0,368	0,110	100%	sim	1:1.000 - C
1,0	0,356	0,374	0,115	100%	sim	1:2.000 - B
1,4	0,272	0,289	0,099	100%	sim	1:5.000 - A

Fonte: O Autor.

Com os resultados apresentados nas avaliações de acurácia posicional planimétrica do MDE gerado a partir de dados coletados por SISVANT pode-se observar que para as escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000 a classificação obtida para cada classe e sua respectiva escala tiveram a mesma classificação para a acurácia posicional, sendo classificado como Classes C, B e A, respectivamente, tendo como referência o MDE do GNSS e do LST ou seja, resultou classificações iguais conforme decreto nº 89.817/84 em concordância com a ET-CQDG.

Nesse contexto, o MDE gerado por SISVANT pode ser aplicado em procedimentos técnico-científicos planimétricos fundamentando processos decisórios referentes a: análises de escoamento em bacias hidrográficas urbanas, elaboração de mapas e análises de declividade, determinação de zonas de alagamento, monitoramento/gerenciamento de zonas de risco, licenciamento ambiental, e outros processos.

Salienta-se que a utilização do MDE testado é dependente da finalidade de sua aplicação e da acurácia exigida, podendo ser utilizado em projetos que envolve tais modelos digitais de elevação (MDE), em suporte a tomada de decisão.

4.8 CONCLUSÕES

O presente trabalho buscou avaliar a acurácia posicional planimétrica através do uso de feições lineares de um MDE gerado a partir de dados coletados por um SISVANT, e a partir desta avaliação, verificar o respectivo potencial e viabilidade de utilização em procedimentos técnico-científicos nas escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000. Foi utilizado como referência MDEs gerados a partir de dados GNSS e LST coletados diretamente no terreno, ou seja, com o equipamento fixo no solo, possibilitando a execução de análises entre os diferentes sistemas de coleta de dados.

Na avaliação da acurácia posicional planimétrica do MDE gerado com dados do SISVANT pelo método de feições lineares, foram obtidas as classes C, B e A do PEC-PCD para as escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000, respectivamente.

Observa-se que o MDE testado foi melhor classificado na escala 1:5.000, sendo viável a aplicação deste modelo, em termos de qualidade posicional, para a geração de diversos produtos que integram bases cartográficas inerentes ao Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM), como por exemplo a Planta Genérica de Valores (PGV), a qual leva em consideração as características do relevo, realização de mapeamentos geomorfológicos para auxiliar o planejamento urbano, áreas de vulnerabilidade em regiões urbanizadas (enchentes, inundações, deslizamentos de terra). Portanto, o MDE gerado com SISVANT constitui um produto fundamental para alguns processos decisórios associados ao CTM, possibilitando assim uma boa gestão municipal.

A partir dos resultados obtidos verifica-se que o MDE gerado com dados de SISVANT apresentou qualidade posicional satisfatória para os níveis de detalhamento do terreno avaliados, com possibilidade de aplicações diversas, tornando-o uma alternativa de baixo custo (mesmo com a necessidade de coleta de alguns pontos de controle e checagem em campo), quando comparado com modelos oriundos de dados obtidos por GNSS ou LST, processos estes que embora amplamente utilizados, são morosos e/ou dispendiosos,.

Nesse contexto, os SISVANTs vêm contribuindo de forma significativa para a otimização do tempo na coleta de dados espaciais, proporcionando uma resolução espacial e temporal muito alta, tornando-se uma alternativa de baixo custo e promissora no que tange a coleta de dados através do levantamento aerofotogramétrico em áreas não extensas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA, F. J. **Calidad en la producción cartográfica**. 1. ed. Madrid: Ra-Ma, 2002. 389 p. ISBN 84-7897-524-1.

ARIZA, F. J.; BALBOA, J. L. G.; PULIDO, R. A. **Casos prácticos de calidad en la producción cartográfica**. 1. ed. Jaén: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Jaén, 2004. 388 p. ISBN 84-8439-239-2.

BARBER, D.; MILLS, J.; BRYAN, P. Towards a standard specification for terrestrial laser scanning of cultural heritage. *In: CIPA INTERNATIONAL ARCHIVES FOR DOCUMENTATION OF CULTURAL HERITAGE*, 19., 2003, Istanbul. **Proceedings** [...]. Istanbul, 2003. p. 619-624. Disponível em: <http://cipa.icomos.org/wp-content/uploads/2018/11/Barber-e.a.-Towards-a-standard-specification-for-terrestrial-laser-scann-ing-of-cultural-heritage.pdf>. Acesso em: 20 jul. 2018.

BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasil, 1984. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm. Acesso em: 10 set. 2015.

BRAZ, A. M.; BORGES, J. P. S.; BERNARDES, D. C. S.; TEREZAN, L. H. Análise Da Aplicação de VANT Na Atualização de Cadastro Florestal Com Uso de Pontos de Controle. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 17., 2015, João Pessoa. **Anais eletrônicos...** João Pessoa: Centro de Congressos de João Pessoa, 2015. p. 2751-2758. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p0545.pdf>. Acesso em: 12 set. 2015.

CARVALHO, J. A. B.; SILVA, D. C. Métodos para avaliação da acurácia posicional altimétrica no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 2, abril/junho, p. 725-744, 2018.

CERVI, W. R.; GOMES, L. N.; RIBEIRO, F. L.; NARDINI, R. C. Avaliação da declividade oriunda de ados SRTM utilizando GNSS RTK como referência. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 764-770. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/rep/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.38.06>. Acesso em: 14 set. 2017.

DJI, Dà-Jiāng Innovations Science and Technology Co. PHANTOM 4: VISIONARY INTELLIGENCE.ELEVATED IMAGINATION. Disponível em: <https://www.dji.com/phantom-4/info#specs>. Acesso em: 08 nov. 2018.

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. Acesso 27 fevereiro 2015.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica para a Estruturação de Dados Geospaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-EDGV)**. Brasília, Brasil, 2015.

DSG - Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geospaciais (ET-CQDG)**. Brasília, Brasil, 2016. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf. Acesso em: 20 nov. 2016.

FERNANDES, V. J. M.; MARTINS, E. F. O.; DAL POZ, A. P.; IMAI, N. N. Filtragem de nuvem laser para geração de MDT por krigagem. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n. 1, p. 196-212, jan./mar. 2017.

FERRAZ, R. S.; SOUZA, S. F.; REIS, M. L. L. Laser Scanner Terrestre: teoria, aplicações e prática. **Revista Brasileira de Geomática**, v.4, n. 2, p. 99-109, mai./ago. 2016.

FONSECA NETO, F. D.; JÚNIOR, 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.

GONÇAVES, J. A.; HENRIQUES R. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v.104, p. 101–111, 2015.

HABIB, A.; MORGAN, M.; KIM, E. M.; CHENG, R. Linear Features in Photogrammetric Activities. *In: ISPRS ANNALS OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 35-B2., 2004, Istanbul. **Proceedings** [...]. Istanbul, 2004. p. 610-615. Disponível em: <https://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm2/papers/200.pdf>. Acesso em: 02 out. 2016.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; WASLE, E. **GPS Global Navigation Satellite Systems: GPS, GLONASS, GALILEO & more**. 5. ed. Áustria: Springer Wien New York, 2008. 518 p.

INCRA. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: Georreferenciamento de Imóveis Rurais**. 1. ed. Brasília, 2013. 37 p. Disponível em: http://www.incra.gov.br/sites/default/files/uploads/estrutura-fundiaria/regularizacao-fundiaria/certificacao-de-imoveis-rurais/manual_tecnico_de_posicionamento_1_edicao.pdf. Acesso em: 03 de nov. 2016.

ISO 19157. **Geographic Information – Data Quality**. ISO-standard and Swedish SIS standard, 2013.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. 3. ed. Hoboken: John Wiley and Sons, 2004. 840 p.

LI, Z., ZHU, Q. GOLD, C. M. **Digital terrain modelling: principles and methodology**. CRC Press: New York. 2005. 307 p. ISBN 9780415324625.

LIMA, E. C. **O Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2012.

LIMA, L. A. **Avaliação da técnica de georreferenciamento direto em mapeamento aerofotogramétrico**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2016.

LOPES, E. C. **Uso da tecnologia laser scanner na geração de MDT e de recursos computacionais em projeto geométrico de estradas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2016.

MESAS-CARRASCOSA, F. J., TORRES-SÁNCHEZ, J., CLAVERO-RUMBAO, I., GARCÍA-FERRER, A., PEÑA, J. M., BORRA-SERRANO, I., & LÓPEZ-GRANADOS, F. Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaics by UAV to support site-specific crop management. **Remote Sensing**, v. 7, n. 10, p. 12793-12814, 2015.

MIOLA, G. A. R.; SANTOS, D. R.; PAVAN, N. L. Um método para registro de dados laser scanner terrestre usando linhas retas e planos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 71-87, jan./mar. 2018.

MIRANDA, G. H. B.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, A. P.; SANTOS, G. R. Análise de Qualidade de Amostragem e Interpolação na Geração de MDE. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 226-257, jan./mar. 2018.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 480 p. ISBN 978-85-7139-788-0.

MOZAS, A.; 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**, v. 25 n. 10, p. 1681–1695, 2011.

OLIVEIRA, L. F., **Análise de modelos digitais de superfície gerados a partir de imagens do sensor PRISM/ALOS**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011.

RIEGL – RIEGL Laser Measurement Systems GmbH. RIEGL VZ-400 laser scanners. Disponível em: http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/RIEGL_VZ-400_News_03-2009_01.pdf. Acesso em: 08 nov. 2018.

ROCK, G.; RIES, J. B.; UDELHOVEN, T. Sensitivity Analysis of UAV-Photogrammetry for Creating Digital Elevation Models (DEM). *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES*, 38-1/C22, Zurich, 2011. **Proceedings** [...]. Zurich, 2011. p. 70-73. Disponível em: <https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXVIII-1-C22/69/2011/isprsarchives-XXXVIII-1-C22-69-2011.pdf>. Acesso em: 02 out. 2017.

RODRIGUES, D. D. **Topografia: Planimetria para Engenheiros Agrimensores e Cartógrafos**. (em desenvolvimento). Notas de Aula. Universidade Federal de Viçosa. 2008. 160 p.

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.

ROIG, H. L.; FERREIRA, A. M. R.; MENEZES, P. H. B. J.; MAROTTA, G. S. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: Complexo Rafain Expocenter, 2013. p. 9308-9315. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte2/2013/05.29.00.37.47/doc/p1264.pdf>. Acesso em: 12 set. 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 mar. 2019.

SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; SANTOS, M. S. T. Terrestrial laser scanner applied to monitoring beach morphological changes in a high energy coastal zone in northeast Brazil. *In: INTERNATIONAL TERRESTRIAL LASER SCANNING USER MEETING*, 7., Rome, 2014. **Proceedings** [...]. Rome, 2014. p. 1-13.

SANTOS, A. P. **Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais com o Uso de Estatística Espacial**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

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, abr.-jun. 2015.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G., SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Avaliação da acurácia posicional planimétrica em modelos de superfície com o uso de

feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 157-174, jan.-mar. 2016.

SANTOS, M. S. T.; AMARO, V. E.; SOUTO, M. V. S. Metodologia geodésica para levantamento de Linha de Costa e Modelagem Digital de Elevação de praias arenosas em estudos de precisão de geomorfologia e dinâmica costeira. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 63, p. 663 - 681, 2011.

SCHÜNEMANN, A. L., **Geotecnologia para mapeamento digital na Antártica marítima**. 2016. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Departamento de Solos, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. 2. ed. Berlin: Walter de Gruyter, 2003.

SOUZA, A. N.; GARNÉS, S. J. A.; SILVA, A. F. Análise altimétrica utilizando métodos de posicionamento GNSS, perfilamento a laser e nivelamento trigonométrico: estudo de caso vila Claudete - Cabo de Santo Agostinho - PE. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA*. 4. 2017, Presidente Prudente. **Anais... Presidente Prudente: UNESP**. 2017. p. 363-368. Disponível em: http://docs.fct.unesp.br/departamentos/cartografia/eventos/2017_IV_SBG/_artigos/2017_SBG_CTIG_paper_78.pdf. Acesso em: 01 nov. 2016.

SUGIURA, R., NOGUCHI, N.; ISHII, K. Remote-sensing Technology for Vegetation Monitoring using an Unmanned Helicopter. **Biosystems Engineering**, v. 90, n. 4, p. 369-379, 2005.

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**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes), Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.

TOPOMAP. **GPS RTK TPS T10**. Disponível em: <http://topomap.com.br/index.php/component/virtuemart/gps-rtk/t10-detail?Itemid=0>. Acesso em: 10 nov. 2018.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. An Accuracy Assessment Method for Geographical Line Data Sets Based on Buffering. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 13, n. 1, p. 27-47, 1999.

VIANA, D. C. **Análise da qualidade cartográfica de MDS e MDE gerados por VANT e refinados com uso de dados GNSS RTK**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2017.

SITHOLE, G.; VOSSSELMAN, G. Comparison of Filter Algorithms. *In: THE INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE*

SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES, 34-3/W13. 2003.
Proceedings [...]. 2003. p. 71- 78.

SOPCHAKI, C. H. **Influência do N amostral e das características do relevo na qualidade de modelos digitais do terreno**. 2016. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2016.

WUTKE, J. D. **Métodos Para Avaliação De Um Sistema Laser Scanner Terrestre**. 2006. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, 2006.

ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; SANTOS, A. P. Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 70, n. 1, p. 359-390, jan./mar. 2018.

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES GERAIS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, constatou-se que a metodologia utilizada para avaliação da qualidade posicional planimétrica de dados espaciais gerados por SISVANT com o uso do método de feições lineares e o tradicional método por pontos é uma alternativa viável para aplicações relacionadas a geração de base de dados cadastrais.

O presente trabalho buscou atender as expectativas com relação ao uso de SISVANTs para mapeamento urbano buscando auxiliar nas ações de ordenamento fundiário voltado a municípios de pequeno porte. O sistema em sua plena eficiência apresenta-se como uma ferramenta valiosa para obtenção de imagens com alta capacidade de revisita e uma expressiva resolução espacial, proporcionando significativo nível de detalhamento do terreno para aplicações cadastrais.

Considerando a avaliação da qualidade posicional planimétrica das ortofotos geradas pelos SISVANTs, constatou-se que tais produtos cartográficos obtiveram classificação adequadas que permitem a geração produtos fundamentais ao CTM, tais como Planta Genérica de Valores, Planta Geral do Município, Planta de Referência Cadastral, Plano Diretor Municipal, parcelamento entre outros.

Em relação a avaliação da acurácia posicional planimétrica do MDE gerado com dados coletados por SISVANT utilizando o método de feições lineares, foram obtidas como resultados as classes C, B e A para o modelo testado nas escalas 1:1.000, 1:2.000 e 1:5.000 respectivamente, tomando como referência MDEs gerados a partir dos dados coletados tanto por GNSS como por sistema de varredura terrestre (LST). A partir dos resultados obtidos destaca-se que o MDE testado (advindo do SISVANT) pode ser utilizado em processos técnicos-científicos que demandem dados tridimensionais provenientes de modelos digitais (por exemplo os projetos de irrigação, análises de declividade e identificação de áreas com vulnerabilidade a enchentes). Destaca-se que as tais aplicações são dependentes da finalidade e da acurácia exigida.

A principal contribuição desta pesquisa foi subsidiar o processo de obtenção de informações cartográficas de interesse a partir da utilização de Sistema de Veículos Aéreos Não Tripulados associados a sensores embarcados, que possam auxiliar na atualização cadastral de cidades de pequeno porte, ou pequenas propriedades rurais, além de servir como base para

outros tipos de pesquisa e aprimorar aquelas em desenvolvimento nesta área do conhecimento sob o ponto de vista de eficiência, qualidade, viabilidade econômica, entre outros.

Por fim, a partir dos resultados alcançados na avaliação da qualidade da ortofoto gerada por SISVANT, foi possível sinalizar a necessidade de discutir, de forma ampla, sobre as possibilidades de utilização/aplicação desse tipo de dado em diversas temáticas, tais como: mapeamento de acessibilidade, descrição geométrica de parcelas, reurbanização de favelas, projetos cadastrais em geral para atualização de bairros, assentamento e projetos de reforma agrária, controle de áreas de risco dentre outros.

Conclui-se que este trabalho conseguiu atingir os objetivos propostos, gerando resultados coerentes e significativos no que tange o controle de qualidade posicional em dados espaciais.

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Avaliar a qualidade posicional planimétrica de ortofotos, obtidos por levantamento aerofotogramétrico utilizando sensores embarcados em plataformas SISVANT associado a multirotores e utilizando sensores em plataforma SISVANT de asa fixa, variando a altura de voo de maneira uniforme, realizando voos cruzados e alterando a quantidade e distribuição de pontos de apoio em campo;
- Propõe-se também, verificar a influência das precisões dos pontos de controle, através de propagação das variâncias, na qualidade das ortofotos geradas através do sistema.
- Propõe-se também, verificar a qualidade posicional altimétrica do MDE gerados a partir sensores embarcados em plataforma SISVANT.