



**FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LAUDNEI RICARDO SILVA
ROBERTA OLIVEIRA AQUINO SILVA**

ACURÁCIA E PRECISÃO:
ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS COM VANT E
SCANNER.

PUBLICAÇÃO Nº: 018/2018

**GOIANÉSIA - GO
2018**



**LAUDNEI RICARDO SILVA
ROBERTA OLIVEIRA AQUINO SILVA**

**ACURÁCIA E PRECISÃO:
ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS COM VANT E
SCANNER.**

PUBLICAÇÃO N°: 018/2018

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG.**

Orientador: Me. Welinton Rosa da Silva

GOIANÉSIA - GO: 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

SILVA, LAUDNEI RICARDO.
SILVA, ROBERTA OLIVEIRA AQUINO.

Acurácia e precisão: análise estatística de levantamentos topográficos com VANT e *Scanner*. [Goiás] 2018

x , 49P, 297 mm (ENC/FACEG, Bacharel, Engenharia Civil, 2018).

TCC – FACEG – FACULDADE EVANGÉLICA DE GOIANÉSIA

Curso de Engenharia Civil.

- | | |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1. <i>eBee</i> | 2. <i>Leica Geosystems</i> |
| 3. Veículo Aéreo Não Tripulado | 4. <i>GNSS</i> |
| I. ENC/FACEG | II. Título (Série 1) |

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

SILVA, L. R. SILVA, R. O. A. **Acurácia e precisão:** análise estatística de levantamentos topográficos com VANT e *Scanner*. TCC, Publicação ENC. PF-001A/07, Curso de Engenharia Civil, Faculdade Evangélica de Goianésia, Anápolis, GO, 55p. 2018.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES: Laudnei Ricardo Silva e Roberta Oliveira Aquino Silva

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:
Acurácia e precisão: análise estatística de levantamentos topográficos com VANT e *Scanner*.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2018

É concedida à Faculdade Evangélica de Goianésia a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Laudnei Ricardo Silva
Avenida Contorno, Nº 8154, Universitário
76382-003 - Goianésia/GO – Brasil

Roberta Oliveira Aquino Silva
Rua 28 Oeste, Nº 1849, Boa Vista
76385-460 - Goianésia/GO - Brasil

**LAUDNEI RICARDO SILVA
ROBERTA OLIVEIRA AQUINO SILVA**

**ACURÁCIA E PRECISÃO:
ANÁLISE ESTATÍSTICA DE LEVANTAMENTOS TOPOGRÁFICOS COM
VANT E SCANNER.**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA FACEG COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**WELINTON ROSA DA SILVA, Mestre (FACEG)
(ORIENTADOR)**

**LUANA DE LIMA LOPES, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**GUSTAVO HENRIQUE MENDES BRITO, Mestre (FACEG)
(EXAMINADOR INTERNO)**

GOIANÉSIA-GO, 17 de NOVEMBRO de 2018.

AGRADECIMENTOS

A conclusão deste trabalho seria impossível sem a colaboração de algumas pessoas e da instituição que, de diversas formas, deram sua contribuição em diferentes etapas. Mais em especial à minha família com sua porcentagem de ajuda, desde meu pequeno Luiz Gustavo, que às vezes me perdoou por não ter tempo para brincar com ele nos momentos das provas e trabalhos, meus pais, em especial meu pai que o olhava no momento em que eu e minha esposa nos encontrávamos na faculdade, à minha esposa Viviane, que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis, minhas irmãs, meus cunhados, minha sogra e sogro por sempre me apoiarem e nos ajudarem quando possível com meu pequeno, agradeço a minha parceira de TCC e de outros tantos trabalhos que fizemos juntos, e ao meu orientador Me. Welinton que tem sua parcela de ensino, pois com ele, conseguimos adquirir novos conhecimentos e concluir mais essa etapa em nosso curso. Ao professor Dr. Daniel pelo suporte e contribuição para o trabalho, e aos professores Me. Luana e Me. Gustavo para nos examinar e nos orientar para conclusão deste.

Agradeço, primeiramente, a Deus, por todos os desafios e graças alcançadas que Ele concedeu em minha vida e por outras tantas que Ele há de me conceder; agradeço a minha família, que tanto me apoiou em momentos de dificuldades; aos meus pais, em especial a minha mãe, que sempre foi o pilar da minha vida, meu espelho, minha inspiração; ao meu esposo, que teve paciência em momentos de estresse pela sobrecarga do dia a dia e que sempre acreditou no meu melhor; a minha irmã, agora comadre, que sempre me ajudou e inspirou a dar o melhor de mim; e a todos os outros familiares, agregados e amigos que, de forma direta ou indireta, fizeram parte dessa jornada me incentivando a prosseguir; agradeço ao meu parceiro de TCC e de outros tantos trabalhos que fizemos juntos, inclusive com a participação de sua esposa, obrigada pela paciência e pela colaboração; aos professores que nos inspiraram a darmos o melhor de nós; aos colegas de turmas, das tantas turmas por quais eu já passei, obrigada pela amizade e pela colaboração; ao nosso orientador que, de forma ímpar, me inspirou e me fez pensar em outros caminhos que podem ser seguidos. Quero, de forma especial, agradecer a todos que fizeram parte da minha jornada e saibam que rezo pelo sucesso de vocês no âmbito pessoal e profissional. Obrigada.

RESUMO

Novas demandas de mercado geraram a necessidade de rapidez e precisão na obtenção e tratamento de dados para a representação da superfície, neste sentido, a topografia aparece como uma ferramenta necessária para a execução dos mais variados tipos de serviços relacionados à engenharia. Neste contexto, o presente trabalho visa analisar a precisão dos equipamentos topográficos na altimetria, o *Scanner* e o VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado, tendo referencial *GNSS RTK (Global Navigation Satellite System)* e a verificar a confiabilidade dos dados, por meio da análise estatística, onde para obtenção da precisão do levantamento, através de testes de hipótese como Qui-quadrado e, para análise de tendência de dispersão, o teste *t-Students*, analisando o modelo digital de terreno obtido nestes levantamentos e classificando-os de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC-PCD. Os materiais utilizados para o levantamento dos dados foram o VANT e o *Scanner*. O VANT utilizado foi uma aeronave de asa fixa, modelo *eBee*, da marca *sense Fly*, a qual fez-se possível obter a nuvem de pontos através de sobreposição de fotos, gerando um modelo 3D de superfície. O *Scanner*, da marca *Leica Geosystems*, modelo C10, propaga feixes de luz na velocidade da luz, onde determina-se a distância através do tempo percorrido; essas informações coletadas pelo equipamento geram uma nuvem de pontos, formando um modelo tridimensional do terreno. Foram coletados, dentro da área levantada, 14 pontos aleatórios com o *GNSS RTK* e analisados nos mesmos pontos pelos dois equipamentos. Os dados não apresentaram diferenças significativas de acordo com os testes realizados, ou seja, os dois equipamentos têm uma precisão próxima ao *GNSS*, aceitáveis dentro da classificação A da PEC – PCD (Padrão de Exatidão Cartográfico), sendo que o que indicará a melhor opção de trabalho será a área a ser levantada e a análise do custo do equipamento em relação ao serviço executado.

Palavras-chave: *eBee*, *Leica Geosystems*, Veículo Aéreo Não Tripulado, *GNSS*.

ABSTRACT

New market demands generated the need for speed and accuracy in obtaining and processing data for surface representation, in this sense, topography appears as a necessary tool for the execution of the most varied types of services related to engineering. In this context, the present work aims to analyze the accuracy of two topographic equipment in the altimetry, the Scanner and the VANT - Unmanned Aerial Vehicle, with GNSS (Global Navigation Satellite System) reference and to verify the reliability of the data, through statistical analysis, in order to obtain the accuracy of the survey, through hypothesis tests such as Chi-square and, for analysis of dispersion tendency, the t-Students test, analyzing the digital terrain model obtained in these surveys and classifying them according to the Cartographic Accuracy Standard - PEC-PCD. The materials used to collect the data were the UAV and the Scanner. The used UAV was a fixed-wing aircraft, model eBee, of the brand sense Fly, which made it possible to obtain the cloud of points by overlapping photos, generating a 3D surface model. The Leica Geosystems Scanner, model C10, propagates beams of light at the speed of light, where the distance is determined by the time traveled; this information collected by the equipment generates a cloud of points, forming a three-dimensional model of the terrain. Within the raised area, 14 random points were collected with the GNSS RTK and analyzed in the same points by the two equipment's. The data did not show significant differences according to the tests performed, ie the two equipment's have a precision close to the GNSS, acceptable within the A classification of PEC - PCD (Cartographic Accuracy Standard), which will indicate the best option will be the area to be lifted and the analysis of the cost of the equipment in relation to the service performed

Keywords: *eBee, Leica Geosystems, Unmanned Aerial Vehicle (UAV), GNSS.*

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1.	Evolução dos Equipamentos Topográficos	4
2.	Categorias dos VANTs.	13
3.	Classificação da Navegabilidade dos Veículos Aéreos Não Tripulados	14
4.	Tolerâncias para avaliação da acurácia de acordo com o PEC-PCD.	17
5.	Informações sobre a câmera S.O.D.A.	19
6.	Dados de voo.	23
7.	Precisões das leituras do <i>scanner</i> .	26
8.	Análise quantitativa da nuvem de pontos.	31
9.	Estatísticas das discrepâncias VANT x <i>GNSS</i>	34
10.	Estatísticas das discrepâncias <i>Scanner</i> x <i>GNSS</i>	36
11.	Comparativo de desempenho entre o VANT e o <i>Scanner</i>	39

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Teodolito Eletrônico.	6
2.	Estação Total.	7
3.	Princípio do funcionamento GPS	8
4.	Cones de atuação formando as interseções com um, dois e três satélites.	8
5.	<i>Scanner</i> a Laser Terrestre.	9
6.	Funcionamento do Laser <i>Scanner</i> terrestre.	10
7.	VANT <i>eBee</i> , marca <i>senseFly</i>	12
8.	Representação do mapeamento com o VANT.	12
9.	Definição de precisão e acurácia.	16
10.	Imagem do ortomosaico gerado pelo <i>software</i> do VANT	20
11.	Nuvem de pontos da superfície	21
12.	Modelo dos pontos de apoio utilizados no levantamento.	22
13.	Disposição dos pontos de apoio utilizados no voo.	22
14.	Imagem da tela do <i>software eMotion3</i> .	24
15.	Posicionamento do <i>Scanner</i> para realizar o levantamento.	25
16.	Marcação feita para instalar o <i>Scanner</i> na posição determinada.	26
17.	Disposição dos pontos do levantamento.	27
18.	Densidade das nuvens de pontos do VANT e <i>Scanner</i>	32
19.	Nuvem de pontos do VANT e <i>Scanner</i>	32
20.	Modelo digital de terreno do VANT e <i>Scanner</i>	33
21.	Gráfico comparativo dos pontos no VANT e <i>GNSS</i>	35
22.	Gráfico comparativo dos pontos no <i>Scanner</i> e <i>GNSS</i>	37
23.	Gráfico comparativo dos pontos no VANT e <i>Scanner</i>	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Sigla	Significado
ABNT	Associação brasileira de Normas Técnicas.
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil.
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações.
BVLOS	É a operação a qual o piloto não consegue manter o <i>drone</i> dentro de seu alcance visual, mesmo que receba ajuda de um observador.
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia.
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo.
GLONASS	Sistema de Navegação Global por Satélite.
GNSS	Sistema Global de Navegação por Satélite / <i>Global Navigation Satellite System</i> .
GPS	Sistema de Posicionamento Global / <i>Global Positioning System</i> .
IGS	<i>International GNSS Service</i> .
LASER	<i>Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation</i> .
MDT	Modelo Digital de Terreno.
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i> .
NBR	Norma Brasileira de Regulamentação.
RBAC 21	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil.
RGB	Red, Gren, Blue.
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada.
RTK	<i>Real Time Kinematic</i> , posicionamento cinemático em tempo real.
S.O.D.A	Modelo da câmera usada no VANT.
SIG	Sistemas de Informações Geográficas.
SISANT	Sistema de aeronaves não tripuladas.
UVS	Associação Internacional de VANTs.
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado.
VLOS	Operem até a linha de visada visual.

SUMÁRIO

RESUMO.....	v
ABSTRACT	vi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 TOPOGRAFIA	4
3.1.1 Teodolito.....	5
3.1.2 Estação Total.....	6
3.1.3 Sistema GNSS.....	7
3.1.4 LASER Scanner Terrestre.....	9
3.1.5 VANT.....	11
3.2 ANÁLISE DA ACURÁCIA.....	15
3.3 Legislação Da Precisão	16
4 METODOLOGIA.....	19
4.1 LEVANTAMENTO DE SUPERFÍCIE COM O VANT.....	19
4.1.1 Planejamento De Voo.....	20
4.1.2 Execução do voo.....	23
4.1.3 Processamento dos dados do VANT.....	24
4.2 LEVANTAMENTO DE SUPERFÍCIE COM O LASER SCANNER.....	25
4.2.2 Processamento dos dados do Scanner.....	27
4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TESTES DE HIPÓTESES	28
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
5.1 ANÁLISE DO MDT.....	31
5.2 VANT X GNSS.....	33
5.3 SCANNER X GNSS.....	35
5.4 ANÁLISE GERAL	37
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	40
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	41
8. ANEXOS.....	47

1. INTRODUÇÃO

O conhecimento do meio em que se vive foi fundamental para o homem garantir a sobrevivência da humanidade. Isso proporcionou mais segurança e promoveu melhorias na orientação das populações, diante dos desafios da navegação, inclusive na eminência de guerras (MCCORMAC, 2007).

Conforme Pinto (2012), novas demandas de mercado que geram a necessidade de rapidez na obtenção e tratamento de dados da superfície, caracterizando o relevo, representando superfícies e até mesmo determinando volumes de maneira rápida, prática e segura, neste contexto, a topografia aparece como uma ferramenta necessária para a execução dos mais variados tipos de serviços relacionados à engenharia. A representação de superfícies para medições de volumes ou caracterização de relevo está ficando cada vez mais refinada, rápida e segura.

A Topografia auxilia no estudo e determinação de perímetro, área, volume e posição relativa de cada ponto identificado na superfície terrestre, tanto na vertical quanto na horizontal, com medidas lineares e angulares sobre a superfície da terra, de acordo com Espartel (1987), essa área do conhecimento também permite a representação gráfica do local estudado por meio de cálculos de estimativa de precisão (KAHMEN e FAIG, 1988).

Os equipamentos topográficos como teodolitos, estação total, GNSS, VANT e *scanner* facilitam a aquisição de dados de superfície. Atualmente, os instrumentos contidos no mercado estão cada vez mais equipados com recursos tecnológicos, fato que popularizou alguns aparelhos de medição (FELIPE, 2015).

Os teodolitos mecânicos estão sendo substituídos por modelos munidos de distanciômetro eletrônico, que logo evoluiu para estações totais, assim os níveis mecânicos estão sendo substituídos por níveis eletrônicos e a laser, sendo a evolução mais significativa nesta área a utilização do sistema de posicionamento global por satélite, conhecido por *Global Navigation Satellite System (GNSS)*, ou seja, os avanços tecnológicos na área topográfica reduziram a margem de erro e o preço dos equipamentos, deixando-os mais acessíveis à população (MCCORMAC, 2007).

Houve o desenvolvimento de programas específicos de dados topográficos e geodésicos, como os Sistemas de Informações Geográficas (SIG), que apresentam ótimos resultados em relação ao Modelo Digital de Terreno (MDT) (TRAGUETA, 2008).

Considerando a importância da topografia na engenharia civil, este trabalho teve como objetivo avaliar a precisão dos equipamentos nos levantamentos altimétricos por meio do VANT e *scanner* em relação a um referencial geodésico.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar se levantamentos topográficos por meio de dois tipos de equipamentos para o *LASER Scanner* e o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Avaliar a precisão dos equipamentos através de testes estatísticos, por meio do teste de Qui-quadrado, e t-student para análise de tendencia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Executar o levantamento de pontos referenciais com o receptor *GNSS* Geodésico para referenciar a area a ser levantada ;
- Levantamento topográfico com *LASER Scanner*;
- Levantamento topográfico com VANT;
- Levantamento topográfico com o receptor *GNSS* Geodésico dos pontos analisados- Verificação da precisão e acurácia do levantamento topográfico;
- Verificação da análise de tendência e das discrepâncias do levantamento topográfico realizado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 TOPOGRAFIA

Os primeiros registros topográficos foram encontrados pelos egípcios 1400 a.C., e utilizavam a corda graduada com nó para a marcação de terras ao longo do Rio Nilo para cobrança de impostos, o instrumento e o processo serviam para descrever e avaliar propriedades rurais e urbanas. Existem relatos de plantas e cartas militares e geográficas desde os primórdios da topografia. Somente nos últimos séculos, a topografia teve avanço tecnológico significativo, passando do empirismo para bases científicas conforme demonstrado na Tabela 1, e graças ao desenvolvimento da matemática e física (WOLF e BRINKER, 1994).

Tabela 1: Evolução dos Equipamentos Topográficos.

Instrumento	Ano	Origem	Função
Corda Graduada com nó	1400 a.C.	Egito	Medição de distâncias e construção de ângulos retos.
Odômetro	20	Império Romano	Medição de distâncias percorridas por veículos.
Corrente	1550	Holanda	Medição de distâncias.
Teodolito	1571	Inglaterra	Medição de ângulos horizontais e verticais.
Telescópio	1608	Holanda	Formação de imagem ampliada de um objeto distante.
Nível	1704	EUA	Medição de desnível.
Trânsito	1831	EUA	Medição de ângulos verticais e horizontais.
Trena de aço	1870	EUA	Medição de distâncias horizontais.
Altímetro	1877	França	Determinação de altitudes através da pressão.
Teodolito com micrometro	1922	Alemanha	Medição mais precisa de ângulos horizontais e verticais.
Radar	1935	Inglaterra	Medição de distância e velocidade.
Nível automático	1950	Alemanha	Medição de desnível com horizontalização automática.
Geodímetro	1953	Suécia	Medição de distâncias de forma mais cômoda.
Termômetro	1957	África do sul	Medição de distâncias.
Nível a <i>LASER</i>	1968	Alemanha	Medição de desnível.
Teodolito eletrônico	1970	Alemanha	Medição de ângulos horizontais e verticais.

Estação Total	1971	Alemanha	Medição de distâncias e ângulos.
GPS	1973	EUA	Posicionamento e navegação.
Nível Digital	1990	Suíça	Medição de desnível.
<i>LASER Scanner 3D</i>	1997	EUA	Medição de distâncias inclinadas, intensidade e cor dos objetos.
VANT	1918	EUA	Medição de distâncias inclinadas/relevos.

Fonte: Gonçalves, 2007(adaptado).

A palavra Topografia tem origem grega e significa descrição do lugar. É uma ciência que estuda o conjunto de métodos de medições de ângulos horizontais, verticais, ou inclinadas, para cálculo de área e perímetros, onde com instrumentos adequados consegue informar com a exatidão pretendida, determinando suas coordenadas topográficas, representando por gráficos e projetos altimétricos nos levantamentos vertical e planimétricos nos levantamentos horizontais detalhando os pontos solicitados conforme Doubeck (1989).

De acordo com a Norma Brasileira de Regulamentação (NBR) 13133, (Associação brasileira de Normas Técnicas (ABNT) 1994, p. 3) estes pontos visam a sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e a sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível e também fotogramétrica representada por métodos mais atualizados na topografia, com equidistância¹ também predeterminada com pontos cotados.

3.1.1 Teodolito

O termo “teodolito” vem do grego “observar claro” e são equipamentos utilizados na topografia e na geodésia, que, fundamentalmente, destina-se à identificação de medida de ângulos verticais e horizontais de forma rápida (CASACA et al., 2005).

O teodolito sofreu avanços tecnológicos, passando de teodolito prismático, onde a leitura dos ângulos era efetuada através do auxílio de prismas posicionados sobre seu visor com círculo graduado, para teodolitos eletrônicos (Figura 1), informatizando-os de maneira que as informações angulares, coletadas durante um levantamento de campo fossem armazenadas em sua memória interna, a qual permite a transmissão de dados para um computador ou diretamente para uma estação gráfica, como uma *ploter* (SILVEIRA, 2000).

¹ Equidistância: Característica ou condição, do que possui a mesma distância ou está localizando entre distâncias iguais.



Figura 1: Teodolito Eletrônico. Fonte: <https://www.santiagoocintra.com.br>

3.1.2 Estação Total

A estação total (Figura 2), surgiu na década de 1990, com a união das funções dos teodolitos eletrônicos com a de um distanciômetro eletrônico, conforme citado por Ramos (1999). Fazendo levantamentos de ângulos verticais horizontais, distâncias inclinadas e determinando o perímetro e cálculo de áreas de maneira automática.

A solicitação da medida de um determinado ponto em relação a outro ponto, independente de sua direção, na vertical ou na horizontal, é uma informação de interesse para diversas áreas, em virtude do dados altimétricos ou planimétricos que proporciona uma ideia do comportamento do relevo de uma determinada área na qual se pretende desenvolver algum tipo de estudo ou projeto. O uso de estações totais na execução de nivelamentos trigonométricos apresenta resultados satisfatórios em virtude da praticidade, rapidez e confiabilidade dos resultados (LUO et al., 2016).

Os dados podem ser armazenados na memória do próprio equipamento ou em coletores de dados externos com *softwares* que possibilitam alta produtividade pela facilidade no manuseio e transmissão de dados (SOUZA, 2001).



Figura 2: Estação total. Fonte: <http://www.leica-geosystems.com.br/>

3.1.3 Sistema GNSS

De acordo com Delazari (2005), o Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System - GNSS*), iniciou nos Estados Unidos, em 1960, com o satélite *Transit*. Após sete anos, a Marinha Americana lançou o satélite *Timation* e, na sequência, no ano de 1978, foi colocado em órbita o primeiro satélite da constelação GPS (Sistema de Posicionamento Global), do Bloco I, no ano de 1989, realizou o lançamento do primeiro satélite da constelação GPS do Bloco II. O primeiro satélite desenvolvido pela Rússia foi o GLONASS (Sistema de Navegação Global por Satélite), sendo posto em órbita em 1982. O início da utilização do posicionamento em tempo real se deu em 1993 e o início do programa Galileo² pelo Conselho de Transportes da União Européia, em 2003, entre outros.

Destaca-se a forma de calcular e identificar a posição de um ponto no globo terrestre, que provocou uma revolução em diversas áreas de conhecimento humano como engenharia, navegação marítima, viagens aéreas, agricultura, entre outras conforme podemos vivenciar nos dias de hoje. Quando se rastreia o sinal do satélite em tempo real, denominamos a informação recebida pela constelação de satélites de efemérides³ transmitidas. Quando essas informações são obtidas posteriormente à data de rastreamento, são denominadas efemérides precisas e disponibilizadas por organismos internacionais como o *International GNSS Service (IGS)*. Algumas características desse sistema estão na

² Galileo: sistema de navegação por satélite da União Europeia. Concebido desde o início como um projeto civil, em oposição ao GPS americano, ao GLONASS russo e ao Compass chinês.

³ Efemérides: é determinação das órbitas de todos os satélites e o cálculo das previsões dessas órbitas para vários dias.

transmissão de sinais pela mesma frequência e no envio de informações simultâneas pela antena do satélite. (SILVA e SEGANTINE, 2015).

O sistema *GNSS* possibilita a localização geográfica de um ponto em qualquer parte do mundo, formado pelos sistemas de navegação GPS, GLONASS (ambos desenvolvidos originalmente para uso militar e que, gradativamente, foram sendo incorporados às aplicações civis) e o sistema Galileo, que está sendo desenvolvido com um propósito estritamente civil (DELAZARI, 2005).

O princípio de funcionamento do *GNSS* (Figura 3) se dá à medida que as componentes do sistema transmitem continuamente um sinal de rádio em forma de onda eletromagnética, que contém informações sobre a sua posição orbital, vinculada a um referencial geodésico formando cones de atuação formando as interseções com um, dois, três e quatro satélites (Figura 4), e o tempo marcado por seu relógio atômico interno. De acordo com Zanotta et al. (2011) são necessários três satélites para ter-se uma posição bidimensional e quatro para uma localização tridimensional.

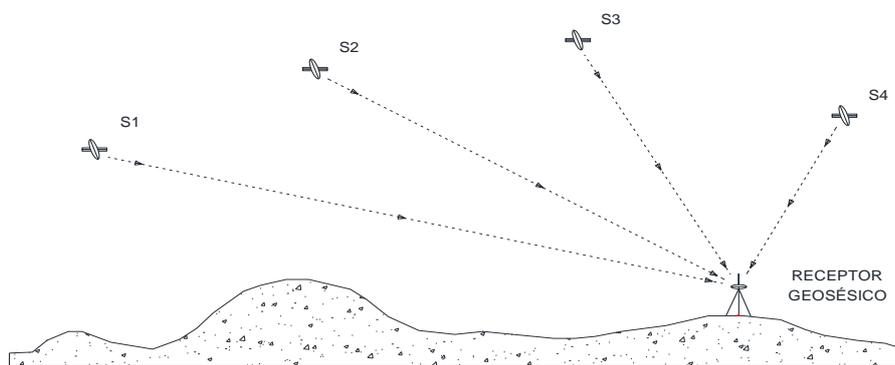


Figura 3: Princípio de funcionamento *GNSS*. Fonte: ZANOTTA et al., 201 (adaptado)

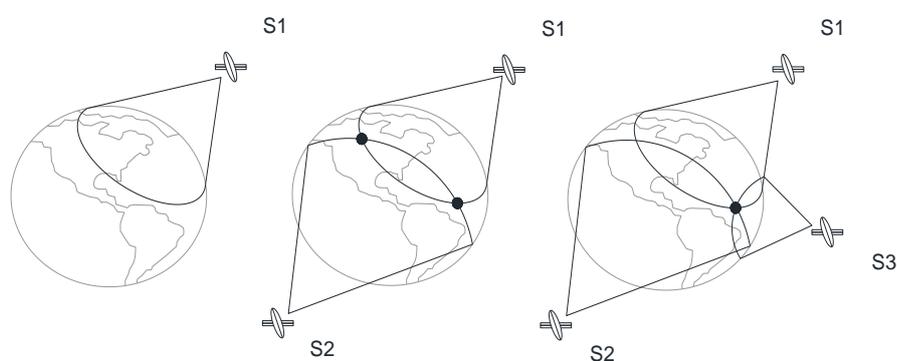


Figura 4: Cones de atuação formando as interseções com um, dois e três satélites. Fonte: ZANOTTA et al., 201 (adaptado)

3.1.4 LASER Scanner Terrestre

Atualmente muito utilizado, para sistemas de mapeamento de diversos fins, como Nuvem de Pontos em três dimensões, podemos executar modelagens (2D ou 3D) ou a extração de informações que visam atender uma determinada finalidade, o *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (LASER)*, originou-se na década de 50. Inicialmente utilizado para pesquisas e aplicações em engenharia, começou a ser empregado em mapeamentos pela *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*, ainda nos anos 60. Porém, para fins de pesquisa e desenvolvimento, seu potencial começou a ser explorado somente a partir da década de 90, com o avanço de tecnologias relacionadas à computação e à orientação direta de imagens (SHAN e TOTH, 2008).

De acordo com Kraus (2007), o *scanner a LASER* (Figura 5) é um dispositivo óptico para emissão de feixe/pulso de radiação (Figura 6), no qual a luz é fortemente colimada⁴, coerente e monocromática⁵. Como o pulso se propaga na velocidade da luz, a distância é determinada medindo o tempo percorrido entre emissão do pulso, que registra e grava coordenadas tridimensionais de certa região ou objeto, e registro da parcela refletida pela superfície. Segundo Schulz (2007), a precisão alcançada está ligada diretamente ao método de coleta de informações, que determina o tipo de aplicação em que pode ser empregado.



Figura 5: *LASER scanner* terrestre. Fonte: <https://hds.leica-geosystems.com>

⁴ Colimar: processo de visar o alvo e aproximar a leitura o mais próximo possível do real.

⁵ Monocromática: diz-se de uma radiação formada por vibrações da mesma frequência.

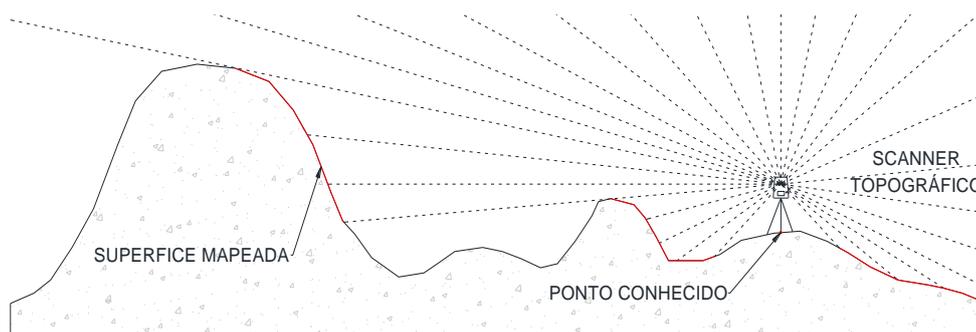


Figura 6: Funcionamento do *LASER scanner* terrestre. Fonte: Nagalli, 2010 (adaptado)

A obtenção adequada dos dados deve, ainda na fase de planejamento, estar atenta a aspectos como iluminação, posicionamento, quantidade de pontos de coleta, presença de anteparos e áreas de sombreamento, resolução da malha de pontos e sistema de referência adotado (NAGALLI, 2010).

Conforme descreve Shan e Toth (2008), a partir da emissão de um pulso via *LASER*, é possível medir a distância de um conjunto de pontos no solo e montar um perfil bidimensional ou seção transversal da área de superfície, com as elevações ao longo do perfil do terreno. Conforme a plataforma vai se deslocando, o *LASER* realiza a medida de distância de cada ponto no solo a partir da posição da plataforma. Quando as posições e altitudes da plataforma forem conhecidas, é possível determinar, então, as coordenadas tridimensionais do ponto no terreno analisado, possibilitando seu perfilhamento.

Como fontes de radiação do *LASER* diferentes materiais podem ser utilizados como gases, sólidos ou semicondutores ou ainda, com menor frequência, líquidos, corantes, dentre outros. No entanto, para a área dos mapeamentos, são necessários altos níveis de energia para medição de distância, o que caracteriza os laser de estado sólido e semicondutores como os mais adequados para esta finalidade, por unirem alto grau de intensidade e colimação (SHAN e TOTH, 2008).

Para obter medidas de distância entre a unidade *LASER* e uma superfície terrestre, Pfeifer e Briese (2007) citam diferentes princípios, em que a precisão está associada ao alcance de distância de cada um, Medidas em intervalos maiores de distância estão associadas ao tempo de retorno de um pulso emitido, com precisão ao nível de centímetros (cm), enquanto distâncias menores podem ser obtidas a partir da técnica baseada em fase, com precisão em milímetros (mm). Segundo Kasper et al. (2004), podem ser divididos por

princípios de medições, distância (*Time of Flight* ou *Phase Based*) ou triangulação (Câmera simples ou Câmera Dupla).

Para levantamentos de grandes áreas é necessária a utilização do método de coleta por distância que é subdividido em Tempo de Percurso do Pulso *LASER* (*Time of Flight*) e Comparação da Fase (*Phase Based*).

De acordo com Ginani (2008), o *LASER scanner* tem alcance de 150 metros, é rápido e preciso na obtenção de dados na posição tridimensional que representam o objeto e suas dimensões com elevada acurácia altimétrica.

3.1.5 VANT

Embora divulgado seu uso comercial recente, a ideologia de artefatos voadores não tripulados é antiga e até anterior aos voos tripulados de acordo com Longhitano (2012). A primeira fotografia aérea em voo não tripulado foi feita por Arthur Batat em 1888, em uma câmera fixada a uma pipa. Entretanto, o primeiro avião não tripulado foi desenvolvido por Kettering Aerial Torpedo, em 1918, projetado na França por Charles Kettering e guiado por sistema pré-pneumático e controles elétricos (PUSCOV, 2002).

A primeira aeronave pilotada remotamente por rádio foi em 1935, por Reginald Denny, chamada RP-1, segundo Puscov (2002), mais de 15 mil VANTs foram desenvolvidos para a Segunda Guerra Mundial e, em 1962, começou-se a desenvolver plataformas para uma maior autonomia de voo, de acordo com Longhitano (2012) e em 1970, iniciou-se a era moderna dos VANTs (Figura 7). Designers dos Estados Unidos e de Israel começaram a desenvolver veículos menores, mais acessíveis financeiramente e acoplados com câmeras que transmitiam imagens em tempo real, utilizados apenas para fins militares e segurança pública. Contudo, apresentaram grandes potenciais de aplicações na área civil (SOUSA, 2017).



Figura 7: VANT *eBee*, marca *senseFly*. Fonte: <https://www.sensefly.com/drone/ebee-mapping-drone/>

Conforme Melo et al. (2016) o VANT da atualidade dispõe de uma estação de controle para operação humana, podendo ser equipado com câmera de infravermelho, radar, GPS e até dispositivos de comunicação especializados e adequados a cada tipo de aeronave. Tais equipamentos são equipados com sensores mais leves que possibilitam a sobreposição de imagens, gerando, conseqüentemente, mapas e cálculos de áreas com qualidade de resolução superior, se comparados a sensores maiores, à mesma cobertura em sobrevoos (Figura 8). De forma não menos importante, sua leveza e instabilidade no ar mostraram-se como limitações que implicariam em resultados menos precisos para a orientação dos sensores (EINSEBEISS, 2009).

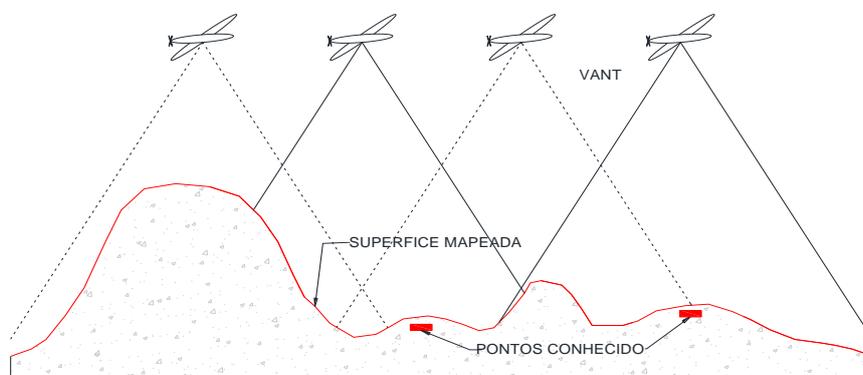


Figura 8: Representação do mapeamento com o VANT. Fonte: Nagalli, 2010 (adaptado)

De acordo com Jorge et al. (2014), esse setor teve grande crescimento devido a diversos projetos de universidades, agências espaciais e empresas privadas. No Brasil, o grande aumento do uso de VANTs se dá ao desenvolvimento tecnológico de setores em desenvolvimento conforme abaixo:

- Filmagem;
- Cadastro urbano, gestão e segurança pública;

- Mapeamentos topográficos de propriedades rurais e urbanas;
- Monitoramento de impactos ambientais;
- Aerofotogrametria;
- Agricultura de precisão.

3.1.5.1 Classificação e regulamentação dos VANTs

Grande variedade, com diferentes configurações e características, os VANTs podem operar a partir de um local remoto ou de forma autônoma, por meio de voos programados. Na maioria dos casos, os *softwares* de programação e controle de voo permitem que os controladores alternem entre controles manuais e autônomos, ou seja, pode haver a troca de controle durante a missão (PEGORARO et al., 2011).

Segundo Silva (2013), na ausência de normas internacionais que controlem o tráfego de VANTs, cada país desenvolve suas próprias regras para classificá-los em diversas categorias. Uma classificação bastante difundida é definida pela Associação Internacional de VANTs (*UVS Internacional*), combina variáveis como alcance, altura de voo, autonomia em horas de voos e peso para agrupar os VANTs em categorias, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Categorias dos VANTs

Categoria	Carga máxima (kg)	Alcance (km)	Altitude (m)	Autonomia de voo (horas)
Micro	<5	<10	250	1
Mini	< 25/30/150	<10	150/250/300	<2
Curta	25-150	10-30	3000	2-4
Media	50-250	30-70	3000	3-6
Longa	>250	>70	>3000	>6

Fonte: www.isprs.org/proceedings/XXXVI/5-W1/papers/11.pdf

Os drones no Brasil foram divididos em três categorias de tipo de uso (comercial, corporativo ou experimental). Classificado como experimental, é descrito como sendo uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) ou Aeronave Autônoma que, uma vez programada, não permite intervenção externa durante a realização do voo, levando-se em consideração o peso máximo de decolagem do equipamento de acordo com a tabela 3. (Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC, 2017, p. 3)

Tabela 3: Classificação da Navegabilidade dos Veículos Aéreos Não Tripulados

Classe	Peso máximo de decolagem	Exigências de Aero Navegabilidade
Classe 1	>150 kg	A regulamentação prevê que equipamentos desse porte sejam submetidos a processo de certificação similar ao existente para as aeronaves tripuladas, promovendo ajustes dos requisitos de certificação ao caso concreto. Esses <i>drones</i> devem estar registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 2	25kg < VANT <= 150kg	O regulamento estabelece os requisitos técnicos que devem ser observados pelos fabricantes e determina que a aprovação de projeto ocorra apenas uma vez. Além disso, esses <i>drones</i> também devem estar registrados no Registro Aeronáutico Brasileiro e identificados com suas marcas de nacionalidade e matrícula.
Classe 3	<= 25 kg	A norma determina que as RPA Classe 3 que operem além da linha de visada visual (BVLOS) ou acima de 400 pés (120m) deverão ser de um projeto autorizado pela ANAC e precisam ser registradas e identificadas com suas marcas de nacionalidade e matrícula. <i>Drones</i> desta classe que operarem em até 400 pés (120m) acima da linha do solo e em linha de visada visual (operação VLOS) não precisarão de projeto autorizado, mas deverão ser cadastrados na ANAC por meio do Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), apresentando informações sobre o operador e sobre o equipamento. Os <i>drones</i> com até 250g não precisam ser cadastrados ou registrados, independentemente de sua nacionalidade (uso recreativo ou não).

Fonte: [http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone .pdf](http://www.anac.gov.br/noticias/2017/regras-da-anac-para-uso-de-drones-entram-em-vigor/release_drone.pdf)

Segundo Júnior (2015), o VANT tem uma excelente ferramenta de obtenção de imagens com ótimas resoluções a baixo custo. Essas características têm popularizado o uso, principalmente para atualização e confecção de mapas, em qualquer área, principalmente as de difícil acesso onde o uso da fotogrametria convencional torna a execução do trabalho economicamente inviável. Sua utilização vem ganhando mercado em razão da sua agilidade na tomada de imagens e no processamento destas, gerando resultados em tempo real, se comparado a outros equipamentos disponíveis no mercado, os VANTs se destacam devido à sua resolução espacial, liberdade ao operador do equipamento para a obtenção de diferentes imagens, desenvolvidas de acordo com o desenvolvimento dos planos de voos, além da grande possibilidade de se estruturar uma base com imagens multitemporais (BRAZ et al., 2015).

Dentre as vantagens do uso dos VANTs têm-se a capacidade de transferência de dados em tempo real entre a aeronave e a estação de controle, além de realizar voos mais

rápidos, seguros e com baixo custo, quando comparado a aeronaves tripuladas (MELO et al., 2015)

Após alguns *workshops*, foram apresentadas propostas de alteração da regulamentação do VANT no Brasil, contando os eventos com a participação dos órgãos governamentais de regulação e operação do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), ANAC, Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), bem como fabricantes de aeronaves (ANAC, 2017).

Aos poucos, o controle de aeronaves no Brasil começa a ser alterado porque a cada dia surgem novos aparelhos. Uma série de medidas deve ser tomada para que esses aparelhos não causem problemas para a aviação geral. Segundo a ANAC (2012), a orientação desses voos é feita através de autorização com base no Regulamento Brasileiro de Aviação Civil (RBAC 21) (Tabela 3). Isso mostra a importância das escolas especializadas no assunto, para que possam se adaptar na formação pilotos para VANT com boa qualificação, após autorização. Atualmente, a legislação (Lei nº. 7.565/86) determina que, para operar qualquer aeronave não tripulada, deve-se obedecer às novas regras da ANAC, que acompanham as normativas de outros órgãos públicos, como o DECEA e ANATEL. Os voos com aeromodelo e RPA de Classe 3 não precisam ser registrados e as demais aeronaves não tripuladas devem ser registrados (ANAC, 2017).

3.2 ANÁLISE DA ACURÁCIA

Quando trabalhamos com dados topográficos, sempre observamos a palavra acurácia ou precisão associada aos resultados obtidos, mas nem sempre estão de acordo com as suas definições. Ao trabalhar com dados georreferenciados, utilizamos equipamentos que acarretam erros associados às medições, podendo ser sistemáticos, grosseiros e aleatórios, de acordo com Silva (2015).

- Erros sistemáticos são erros causados por fontes conhecidas, como manuseio do equipamento topográfico ou causas ambientais, mas que geralmente podem ser eliminados ou compensados.
- Erros grosseiros são erros causados pela falta de cuidado do operador, no manuseio das informações, como erro ao identificar o alvo.

- Erros aleatórios são erros de causas diferentes e incoerentes, bem como causas temporais que variam durante observações sucessivas, sendo imprevisível sua ocorrência.

A forma mais fácil de representar a acurácia e precisão é o exemplo dos tiros sobre um alvo, demonstrado por Pereira (1999), onde W não tem precisão nem acurácia; X não tem acurácia, mas tem precisão; Y tem acurácia, mas não tem precisão e Z tem acurácia e precisão. Desta forma podemos definir a precisão como a dispersão do resultado obtido e a acurácia como a variação entre o resultado obtido e o valor de referência.

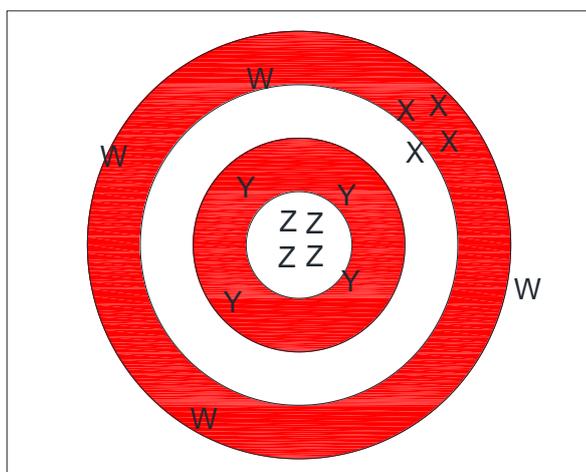


Figura 9: Definição de precisão e acurácia. Fonte: Pereira, 1999 (adaptado)

3.3 Legislação Da Precisão

De acordo com Silva (2015), os produtos cartográficos estão sujeitos a padrões de exatidão definidos por lei, algo que gera confiabilidade do produto, permitindo um melhor uso da informação dos dados espaciais. Dessa forma, podemos expor de forma cronológica a evolução das normas brasileiras, que dizem respeito aos produtos cartográficos.

- *“Decreto Lei nº 89.817/1984 – de autoria da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional: esta norma cria o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) de acordo com sua escala, para avaliação e classificação da acurácia posicional, onde Noventa por cento dos pontos isolados de altitude,*

obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico – estabelecido. Avaliando a exatidão das cartas a partir de um indicador estatístico de dispersão com 90% de probabilidade, que corresponde a 1,6449 vezes o Erro Padrão – PEC. Sendo que o Erro-Padrão isolado num trabalho cartográfico, não pode ultrapassar 60,8% do Padrão de Exatidão Cartográfica. As cartas avaliadas, conforme os critérios estabelecidos no artigo 9º, podem ser enquadradas nas Classes A, B ou C”, conforme” ilustrado na Tabela 4.

Tabela 4: Tolerâncias para avaliação da acurácia de acordo com o PEC-PCD escala 1:10.000

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimétrica		Altimetria	
		PEC (m)	EP(m)	PEC (m)	EP(m)
-	A	2,80	1,70	1,35	0,84
A	B	5,00	3,00	2,50	1,67
B	C	8,00	5,00	3,00	2,00
C	D	10,00	6,00	3,75	2,50

Fonte: (DSG,2011) e PEC (Decreto-Lei 89.817/84).

- “NBR 13.133/1994 – criada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT): esta norma fixa as condições exigíveis para a execução de levantamentos topográficos. Em seu capítulo de inspeção, ela preceitua as regras para avaliar a acurácia posicional utilizando dois critérios para aceite ou rejeição das plantas topográficas, com base em testes realizados em campo: (1) critério utilizado distâncias medidas no terreno e suas homólogas medidas nas plantas topográficas; e (2) critério da verificação da qualidade posicional de pontos. ”

- “2011 – ET-ADGV / INDE – publicada pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro (DSG), em sua 2ª Edição, Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV): 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). ”

Ao analisar as três diretrizes acima citadas, pode-se definir que o PEC estabelecido no primeiro decreto Lei nº 89.817, de 20 de junho de 1984, não atende a especificações necessárias para avaliar um produto cartográfico digital, pois havia poucas experiências registradas nesta data. (SILVA, 2015)

Para a análise da acurácia dos modelos digitais de terreno gerados através dos levantamentos com o VANT e o *Scanner* topográfico e *GNSS*, utilizamos testes de hipóteses, a partir da análise de tendências, como proposto por Galo e Camargo (1994), baseados na distribuição de *t-Student* e classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), criado pela Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV), com o intuito de modernizar o Decreto nº 89.817/84, criando tolerâncias específicas para produtos digitais como Modelos Digitais de Terreno - MDT, Modelos Digitais de Elevação - MDE, Modelos Digitais de Superfícies - MDS e para os Pontos Cotados e, criando também, uma nova Classe A e mantendo as classes criadas anteriormente. (SILVA, 2015)

A ET-ADGV, faz parte da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro – DSG e 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). (SILVA, 2015)

4 METODOLOGIA

O *LASER scanner* topográfico e o VANT são ferramentas que possuem destaque no mercado da topografia, além de contribuírem significativamente nos mapeamentos de superfície, em comparação aos métodos clássicos. Diante do exposto, iremos relatar sobre as etapas necessárias para a execução destes levantamentos e os métodos empregados para realização deste estudo, desde o planejamento à execução e geração da nuvem de pontos.

Algo que devemos direcionar neste estudo, devido sua significância, é a precisão obtida no produto final, algo que pode variar na centimétrica ou milimétrica, alterando de acordo com o equipamento adotado, deste modo, faz-se uma análise das superfícies e o custo benefício de cada aparelho.

4.1 LEVANTAMENTO DE SUPERFÍCIE COM O VANT

O VANT (Figura 7) utilizado neste experimento é uma aeronave de asa fixa, modelo *eBee*, da marca *sense Fly*, empresa fundada em 2009 e subsidiária comercial do *Parrot Group*, da classe 3 conforme classificação da ANAC. Este equipamento permite a tomada de imagens de alta resolução de forma rápida e fácil.

Para a tomada de fotos, o VANT utiliza uma câmera da marca *senseFly*, modelo S.O.D.A., que é a primeira câmera a ser desenhada para fotogrametria em *drones* profissionais caracterizada na Tabela 5. Ela captura imagens RGB incrivelmente nítidas, em diferentes condições de luz, permitindo produzir ortomosaicos vivos e alta precisão de modelos digitais de superfícies.

Tabela 5: Informações sobre a câmera S.O.D.A.

Câmera S.O.D.A	
Resolução	20 MP
Resolução do solo a 122m	2,9 cm / pixel
Tamanho do sensor	2,54 cm
Densidade de <i>pixels</i>	2,33 μ m
Formato de imagem	JPEG ou JPEG+DGN

Fonte: Catálogo *eBee*.

4.1.1 Planejamento De Voo

O planejamento de voo é uma das etapas mais importantes do levantamento, é neste momento que se verifica as condições ideais da atividade, definido o pouso, lançamento, área sobrevoada e outras condições desejáveis para a aeronave.

A primeira escolha realizada, antes de iniciarmos o planejamento, foi a definição da área a ser sobrevoada, que é influenciada pelo tipo de produto final que se deseja obter, como simplesmente as nuvens de pontos ou modelo digital do terreno.

Nesse estudo foi escolhido uma area, do município de Barro Alto – GO, no mês de março de 2018, as 14:00 horas, onde escolhemos uma área sem vegetação e pouco acidentada, sendo que o objetivo foi medir os dados da superfície. O *software* do VANT utiliza a sobreposição de imagens, para obtermos os modelos tridimensionais de terreno (Figura 10), este modelo é gerado a partir da nuvem de pontos do levantamento como podemos ver na figura 11.

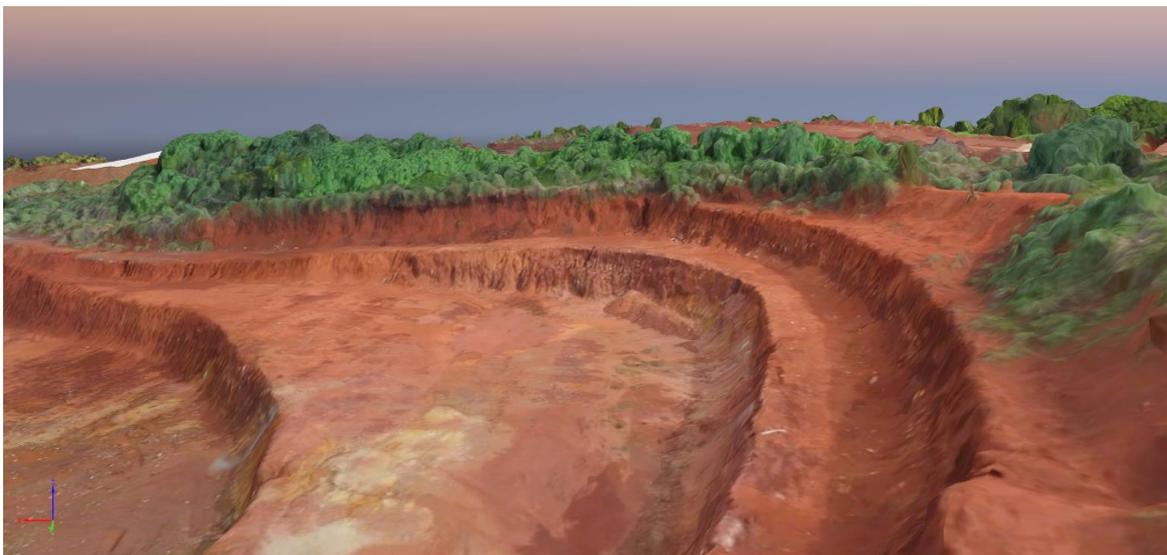


Figura 10: Imagem do ortomosaico gerado pelo software do VANT. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 11: Nuvem de pontos da superfície. Fonte: Arquivo pessoal.

É importante observar, durante o planejamento do voo e a sua execução, as condições climáticas, pois o equipamento não tem proteção contra água e poeira, no dia do levantamento o céu estava limpo, poucas nuvens, sem previsão de chuva, com vento a 2,3 m/s. Deve ser observado, também, o horário de voo, devido à incidência de luz, sendo que o fabricante recomenda que os voos sejam feitos durante os horários em que o sol esteja mais alto para que não haja efeitos de sombreamento nas imagens.

Definida a área de voo, é necessário colocar alguns pontos de apoio, para que seja possível georreferenciar as imagens posteriormente. O VANT possui um sistema *GNSS* de navegação integrado, que captura as coordenadas ao mesmo momento da tomada das fotos.

Os pontos de apoio utilizados foram de 6 estacas de 0,50 m cada (Figura 12), pintadas na cor branca e posicionadas em forma de cruz. Com essa disposição, fica mais fácil a marcação dos pontos nas fotos e mais viável mapear diferentes áreas, pois, depois de executado o voo, pode-se recolher as estacas e reutilizá-las posteriormente em outros locais.



Figura 12: Modelo dos pontos de apoio utilizados no levantamento. Fonte: Arquivo pessoal.

Para a obtenção das coordenadas dos pontos de apoio, utilizou-se de um receptor GNSS da marca *Spectra Precision*, modelo SP60, com sistema *Real Time Kinematic* (RTK⁶) incluso, onde se é possível obter a coordenada corrigida em tempo real. Podemos ver na figura 13 a distribuição destes pontos.



Figura 13: Disposição dos pontos de apoio utilizados no voo. Fonte: Arquivo pessoal.

Utilizou um nível de bolha para auxiliar no nivelamento do bastão, junto ao tripê de bastão para que não houvesse movimentos no momento de gravar as coordenadas, o

⁶ RTK: Real Time Kinematic (Posicionamento Cinemático em Tempo Real).

equipamento ficou por cinco segundos em cada ponto para o rastreamento no modo RTK, desta maneira obtivemos precisões milimétricas nas coordenadas.

4.1.2 Execução do voo

O planejamento do voo foi realizado com auxílio do *software eMotion3*, desenvolvido pela *senseFly*, utilizando os parâmetros apresentados na tabela 6. Podemos ver logo abaixo na figura 14, a tela de comandos do *software eMotion3*.

Tabela 6: Dados do voo

Dados de voo	
Raio de alcance do rádio	1.250 m
Altura máxima de voo	212,50 m
Aterrissagem	Linear
Resolução espacial	5 cm/px
Sobreposição lateral	80%
Sobreposição longitudinal	70%
Tempo de voo estimado	00:12:21
Número de linhas de voo	10
Área sobrevoada	22,10 ha
Número de fotografias	125

Fonte: *Software eMotion3*.

Para decolagem da aeronave foi definido o ponto de partida e realizado verificações de segurança com intuito de detectar eventuais problemas, sendo realizados os seguintes testes: Sopros no tubo do *pitot* e verificar se está funcionando, verificação do sistema inercial do VANT, posicionando-o em várias direções, verificação do sensor de altitude, e verificação do acionamento automático dos *flaps* das asas.

Se após as verificações de segurança constatar que o equipamento está funcionando corretamente, e não estiver mostrando nenhuma mensagem de erro no *software* de operação da aeronave, liga-se o motor do *eBee*, através de três movimentos rápidos para frente, e lança-o, contra o vento. A partir deste ponto, o VANT funcionará de forma totalmente autônoma.

Quando a missão é concluída o VANT voltou para o local determinado e segue para a rampa de pouso, posicionada para o equipamento aterrisar contra o vento, fato que amortiza a queda na descida.

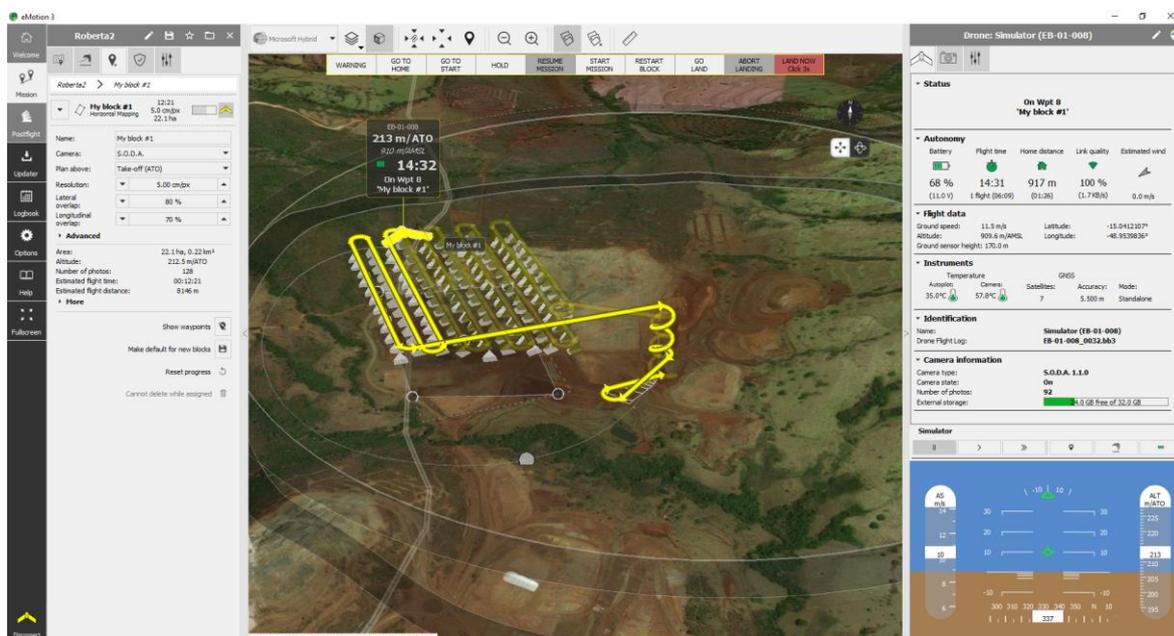


Figura 14: Tela do *software* eMotion3. Fonte: Arquivo pessoal.

4.1.3 Processamento dos dados do VANT

Finalizada a etapa de voo, partimos para o tratamento dos dados obtidos descarregando as fotos em formato “*jpeg*”, o *log* de voo e as coordenadas dos pontos de controle, e insere estas informações no programa *Pix4D mapper Pro*, versão 3.1.22, que é um *software* de fotogrametria profissional, fazendo uso de imagens para gerar nuvens de pontos, modelos digitais de superfícies, ortomosaicos, modelos texturizados e outros afins.

Fez-se, inicialmente, um processamento rápido, onde o *software* posicionou as fotos do voo e gerou uma única imagem. Com este processo, o *Pix4D* relaciona os pontos de apoio com as fotos aéreas e, na sequência, remarcamos manualmente os pontos de apoio nas fotos, aproximando ao máximo do real. Concluída a etapa, fizemos o processamento completo dos dados, foi dividido em três etapas:

- Primeira etapa: calibração automática das câmeras e georreferenciamento das fotos a partir dos pontos de apoio marcados.
- Segunda etapa: geração da nuvem densa de pontos.

- Terceira etapa: geração do modelo de superfície, ortomosaico e imagem georreferenciada.

4.2 LEVANTAMENTO DE SUPERFÍCIE COM O *LASER SCANNER*

O *LASER Scanner* topográfico, utilizado neste experimento é da marca *Leica Geosystems*, empresa do grupo *Hexagon*, modelo C10, este é um equipamento para mapeamento em alta definição projetado para aumentar a produtividade e a precisão em levantamento, tanto em áreas externas como internas.

Este equipamento tem resistência a poeira e água e não necessita de luz para operar, sendo, inclusive, muito utilizado em minas subterrâneas e dentro de construções, o levantamento foi realizado no mesmo dia do voo, e as condições climáticas eram as mesmas.

Antes de iniciar o levantamento, escolheu-se os pontos estratégicos na superfície para posicionar o equipamento (Figura 15) para cobertura da área levantada. Nos locais determinados, rastreamos dois pontos com o receptor *GNSS* no modo *RTK*. As coordenadas dos pontos foram obtidas com receptor geodésico da marca *Spectra Precision*, modelo *SP60*, utilizando a mesma metodologia citada no levantamento com o *VANT*, com a diferença de que neste caso fizemos marcações no solo ao invés de utilizarmos estacas (Figura 16).



Figura 15: Posicionamento do *LASER scanner* para realizar o levantamento. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 16: Marcação feita para instalar o *LASER scanner* na posição determinada. Fonte: Arquivo pessoal.

O equipamento foi posicionado, nivelado e inserido as coordenadas do ponto em que se encontrava estacionado e a altura do ponto referencial no aparelho até o solo de 1,49 metros. Na sequência, foi inserido as coordenadas do segundo ponto, fato necessário para orientar o levantamento de forma correta através do azimute verdadeiro. Com o equipamento direcionado faz-se a leitura para o ponto em ré e faz a leitura do alvo, conhecido como *target*, por meio dessa etapa é possível saber os erros embutidos na mesma (Tabela 7), se o erro for aceitável para a atividade, pode-se autorizar o início da varredura.

Neste experimento, foi utilizada a resolução média do *scanner*, que tem um tempo médio de leitura de sete minutos, onde a cada 100 m, temos uma malha de pontos de 10 em 10 cm.

Tabela 07: Precisões das leituras do *scanner*.

Precisões das leituras por ponto						
Estação	Visada	Dist. Horizontal (m)	ΔN (m)	ΔV (m)	ΔH (m)	Δ Dist. (m)
P1	P2	71,258	0,012	0,033	-0,018	-0,035
P2	P1	71,244	-0,007	-0,02	0,017	-0,021
Estação	Visada	Dist. Horizontal (m)	σN (m)	σV (m)	σH (m)	σ Hz orient(m)
P3	P1-P2	-	0,017	0,006	0,051	0°0'26"

Fonte: Arquivo pessoal.

Concluída a leitura, posicionamos o *scanner* no ponto anteriormente chamado de ré e fizemos a varredura do *target*, no ponto onde primeiramente havíamos instalado o equipamento, verificando as precisões obtidas (Tabela 7) e na sequência iniciando o escaneamento da área.

No terceiro ponto foi necessário fazer uma interseção a ré, manobra onde instalamos o equipamento em um local sem nenhuma referência de coordenada e fazemos leituras simultâneas em dois pontos coordenados, dessa maneira, através dos ângulos e distâncias identificados, o equipamento conseguiu definir a coordenada do ponto instalado e as precisões obtidas na leitura; estando dentro da tolerância (Tabela 7), iniciou-se o escaneamento. A disposição dos pontos utilizados no levantamento pode ser observada na imagem a seguir (Figura 17).



Figura 17: Disposição dos pontos do levantamento. Fonte: Arquivo pessoal.

4.2.2 Processamento dos dados do Scanner

Concluído o levantamento da área de interesse, foi utilizado de um *pendrive* para descarregar as informações salvas no equipamento. Automaticamente, o *scanner* cria uma pasta na origem do *pendrive* com o nome da obra, nesta encontra-se as nuvens de pontos de cada instalada realizada, chamamos este de dados brutos de levantamento.

Esses arquivos são importados para um *software* chamado *Cyclone*, versão 8.1.3, e neste programa é possível visualizar a nuvem de pontos e exportá-la para formatos

compatíveis com outros *softwares*, além de ser possível realizar o cálculo da poligonal do *scanner*, quando os mesmos foram realizados de forma arbitrária, fato que não foi necessário neste caso.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA E TESTES DE HIPÓTESES

Podemos ressaltar, de acordo com Mônico (2008), a falta de normas claras que definam a realização de testes estatísticos específicos para tal experimento, tais como a forma e a definição de quantidade de pontos amostrados em campo para a análise, estabelecendo, assim, a avaliação da acurácia encontrada com testes estatísticos de hipótese. Essas incertezas fazem surgir diversas interpretações nas áreas de Ciências Geodésicas e Cartográficas, a partir deste ponto será feita verificação e análise estatística da acurácia (precisão) e análise de tendência dos levantamentos VANT, *Scanner* e *GNSS*, utilizando métodos identificados na literatura e baseando-se nas normas. (SILVA, 2015)

Para conduzir um teste de hipótese, vamos considerar dois parâmetros estatísticos, aos quais chamamos de hipótese nula e hipótese alternativa (MORETTIN, 2010):

1) Hipótese nula (H_0): Hipótese que assumimos como verdade e aceitável as discrepâncias encontradas.

2) Hipótese alternativa (H_1): Resulta da não aceitação da hipótese nula, quando a discrepância está acima do aceitável pelo teste de hipótese.

Para considerarmos os levantamentos acurados, considera-se a classe A para Padrão de Exatidão Cartográfica PEC na escala 1:10.000, com equidistância de 5 m, onde o produto da equidistância pelo coeficiente da PEC (Tabela 4) tem que ser maior que as discrepâncias entre coordenadas do ponto referência e do observada em mais de 90% dos pontos. (SILVA, 2015)

De acordo com a equação 1, encontramos o desvio ΔX_i , em que X_C dados observados e X_i^r dados referência. (SILVA, 2015)

$$\Delta X_i = (X_C - X_i^r) \quad (1)$$

A partir das variações amostrais, obtemos a média aritmética $\overline{\Delta X}$ (Equação 2) e o desvio padrão $S_{\Delta X}$ (Equação 3), sendo que “n” representa o número de elementos da amostra.

$$\overline{\Delta X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta X_i \quad (2)$$

$$S_{\Delta X} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta X_i - \overline{\Delta X})^2} \quad (3)$$

Na análise da precisão, utilizamos o teste de Qui-quadrado X_X^2 (Equação 4), em que H_0 é a cota observada e H_r é cota referência, 0,5 correlação de *Yates* para precisão nos valores.

Para comparar o valor buscado X_X^2 com o valor referencial do teste, em que o Qui calculado X_X^2 for menor que Qui tabelado (Anexo 1, graus de liberdade x nível de significância), aceitar a hipótese nula para a avaliação dos efeitos dos erros aleatórios, considerando uma variância aceitável, e se Qui calculado X_X^2 for maior ou igual ao Qui tabelado (Anexo 1, graus de liberdade x nível de significância), rejeita-se a hipótese nula e adota-se a hipótese alternativa para avaliação dos efeitos dos erros aleatórios. (MORETTIN, 2010)

$$X_X^2 = ((H_0 - H_r) - 0,5)^2 / H_r \quad (4)$$

Nas análises de tendência seguindo os valores de média $\overline{\Delta X}$, mediana, desvio padrão $S_{\Delta X}^2$, Erro Padrão (EP), Variância σ_X^2 e N soma das quantidades de amostras, baseado na distribuição *t-Student*, (Equação 5) quando é verificada a ausência de erros sistemáticos, em que consideramos a Hipótese nula, quando o resultado do teste for menor que *t-Student* tabelado (Anexo 2, graus de liberdade x nível de significância Equação 6 para que o produto avaliado possa ser considerado como livre de tendências significativas na coordenada testada e hipótese alternativa quando resultado maior que *t-Student* tabelado (Anexo 2, graus de liberdade x nível de significância Equação 6. (MORETTIN, 2010)

$$t_X = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta X}} \sqrt{n} \quad (5)$$

$$|t_x| < t_{n-1, \alpha/2} \quad (6)$$

Com os testes de hipóteses, foi possível realizar a avaliação da acurácia (precisão), fazendo distinção entre os efeitos sistemáticos e aleatórios, fatores que atendem aos princípios de Mônico (2008).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ANÁLISE DO MDT

Com as nuvens de pontos obtidas por intermédio dos levantamentos com o VANT e o LASER *scanner* topográfico, gerou um Modelo Digital de Terreno – MDT, utilizando o programa I-Site Studio, produzido pela empresa Maptek, software específico para o tratamento de nuvens de pontos. Este modelo de representação da superfície, utilizou os pontos obtidos no levantamento para gerar uma malha triangular irregular (TIN) não uniforme, sendo que todos os dados utilizados neste estudo utilizaram o Datum Sad 69 como referência. (SILVA, 2015)

Através dos MDT's obtidos devido nos levantamentos, foram possível chegar aos resultados abaixo, conforme descrito na tabela 8.

Tabela 8: Análise quantitativa da nuvem de pontos

	VANT	SCANNER
Nuvem de pontos	3.254.126	4.321.758
Densidade média pontos m ⁻²	421	453
Quantidade de triângulos gerados	1.456.312	2.530.954

Fonte: Fonte arquivo pessoal.

Os resultados expressos na tabela 8, representa a área da figura 18, para uma análise quantitativa da amostra; no caso do levantamento com o VANT, podemos destacar que o mesmo gerou uma nuvem de pontos com 3.254.126 milhões de pontos, equivalente a uma densidade de 421 pontos m² e um MDT com 1.456.312 milhões de triângulos que representam a superfície do terreno. Já no caso do *scanner* topográfico, obtivemos uma nuvem mais densa que a anterior, com 4.321.758 milhões de pontos, equivalente a uma densidade de 453 pontos m² e um MDT com 2.530.954 milhões de triângulos representando a superfície do terreno.

O modelo digital do terreno gerado de forma coesa representa a superfície analisada, o mesmo foi gerado de forma a representar a topografia original do local, sendo possível identificar os pontos notáveis no terreno. Observamos que com a nuvem de pontos gerada pelo levantamento com o VANT obteteve uma superfície mais regular e com os

pontos mais bem distribuídos, gerando, assim, um MDT mais uniforme em todo o levantamento, já no caso do levantamento com o *scanner* observou-se que os pontos apresentam-se mais concentrados, próximo ao local em que o equipamento foi instalado, conseqüentemente gerou um menor detalhamento ao se afastar do mesmo, além de apresentar ausências de pontos em locais de sombra, que são locais em que o laser não alcançou devido à interferência de feições no terreno.

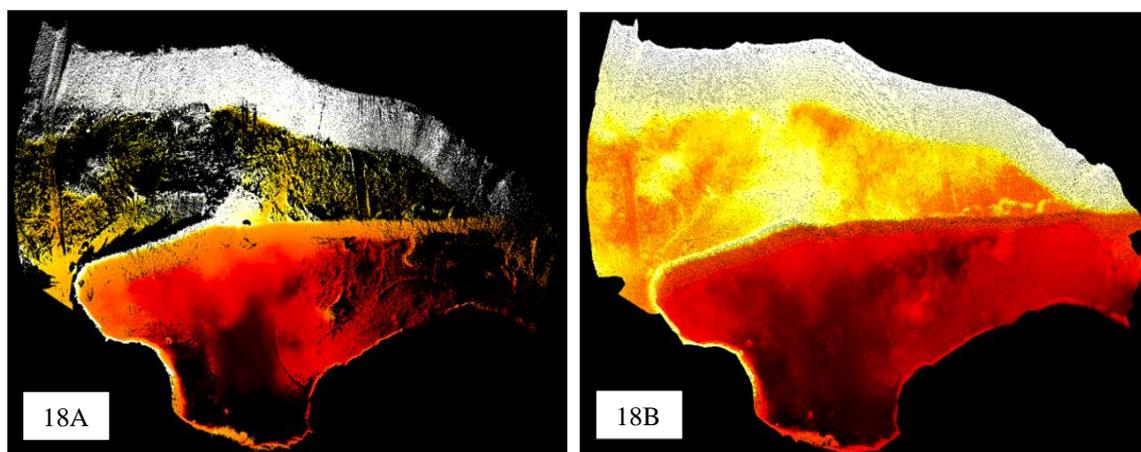


Figura 18A e 18B: Densidade da nuvem de pontos do VANT e scanner respectivamente. Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 19A e 19B: Nuvem de pontos do VANT e *Scanner* respectivamente. Fonte: Arquivo pessoal.

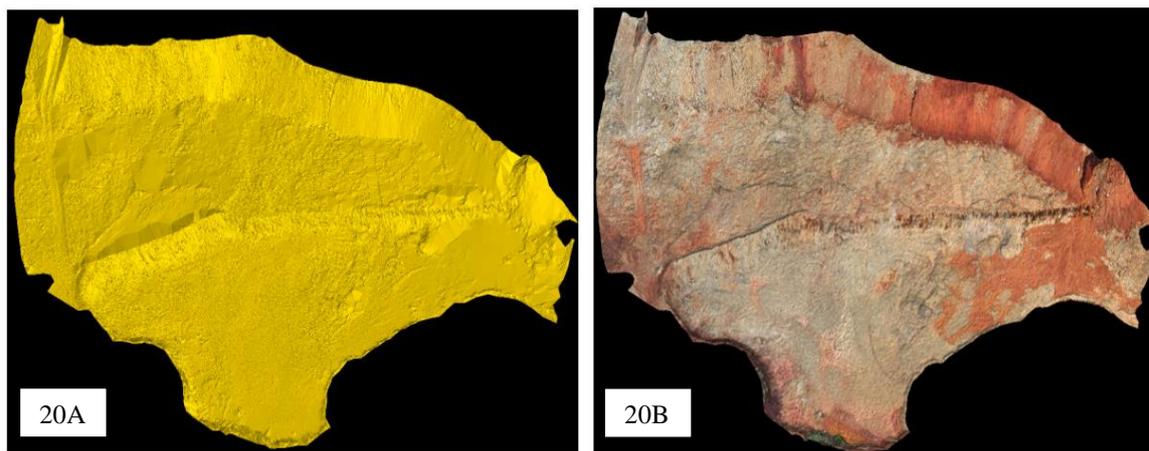


Figura 20A e 20B: Modelo digital de terreno do VANT e *Scanner* respectivamente. Fonte: Arquivo pessoal.

Diante do exposto, aplica-se a avaliação da acurácia nos levantamentos realizados neste estudo, através do teste de hipótese. Para a análise da precisão e tendência utilizou as equações de Qui-quadrado e o *t-Student*, os valores obtidos nos resultados foram classificados de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD).

5.2 VANT X GNSS

Analisou-se à precisão, dos pontos gerados a partir dos dados obtidos pelo VANT x GNSS, onde obteve-se os seguintes valores compatíveis com a Classe A, na escala 1:10.000, do PEC-PCD para equidistância vertical, onde mais de 90% dos pontos e a discrepância entre o ponto ré e visada e menor que o produto pelo coeficiente da PEC-PCD (Tabela 4) pela equidistancia de 5m.

De acordo com o método do Qui-quadrado (Equação 4), encontrou-se o valor de $X_{\chi^2} = 0,004$ (Tabela 9) < 22,362 (Anexo 1), onde pode-se assumir a hipótese nula (H_0) como verdade para a construção do teste.

Pela análise de tendência, verificou-se que os valores calculados pelo teste *t-Student* (Equação 5) para os dois modelos analisados, VANT x GNSS, estavam no intervalo de aceitação da Equação 6. Para um nível de significância (1 - α) igual a 95% ($\alpha = 0,05$), que neste estudo, considerando os 14 pontos de referência utilizados na análise e 13 (N-1) graus de liberdade, obtém-se o valor pelo teste *t-student* 1,184 (Tabela 9) < 2,160 (Anexo 2), aceitando a hipótese nula para os dois modelos testados.

Conforme os levantamentos de dados, pode-se identificar, através do gráfico (Figura 21), os comparativos das cotas de cada pontos adquiridos por meio do VANT e do GNSS.

Tabela 9: Estatísticas das discrepâncias VANT X GNSS

PONTO	Observada [m]	Referência [m]	Discrepância [m]
	VANT	GNSS	VANT - GNSS
1	695,972	695,768	0,204
2	695,346	695,301	0,045
3	694,968	694,896	0,072
4	695,182	695,185	-0,003
5	689,777	689,901	-0,124
6	690,709	690,782	-0,073
7	690,569	690,575	-0,006
8	690,137	690,153	-0,016
9	690,630	690,887	-0,257
10	690,239	690,290	-0,051
11	690,386	690,395	-0,009
12	691,489	691,532	-0,043
13	689,962	690,039	-0,077
14	689,686	689,822	-0,136
SOMA	9685,052	9685,526	-0,474
MEDIA	691,789	691,823	-0,034
VARIANCIA	5,340	5,005	0,011
DESVIO PADRÃO	2,398	2,322	0,107
QUI-QUADRADO DE KARL PEARSON			0,004
	C/ 5% <22,362 ACEITA Ho		
T STUDENT			1,184
	C/ 5% < 2,160 ACEITA Ho		

Fonte: Resultado do experimento.

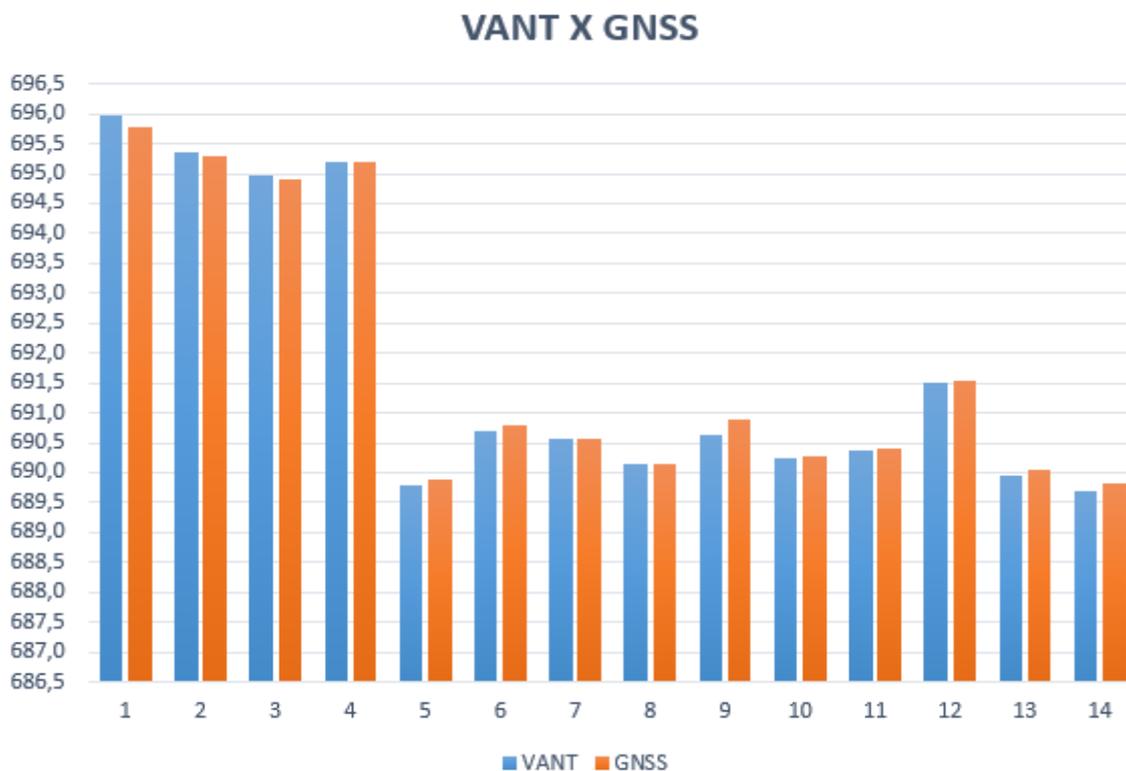


Figura 21: Gráfico comparativo dos pontos no VANT e GNSS.

5.3 SCANNER X GNSS

Analisou-se à precisão, dos pontos gerados a partir dos dados obtidos pelo VANT x GNSS, onde obteve-se os seguintes valores compatíveis com a Classe A, na escala 1:10.000, do PEC-PCD para equidistância vertical, onde mais de 90% dos pontos e a discrepância entre o ponto ré e visada e menor que o produto pelo coeficiente da PEC-PCD (Tabela 4) pela equidistancia de 5m.

De acordo com o método Qui-quadrado (Equação 4), encontrou-se o valor de $X^2 = 0,003$ (Tabela 10) $< 22,362$ (Anexo 1), onde pode-se assumir a hipótese nula (H_0) como verdade para a construção do teste.

Pela análise de tendência, verificou-se que os valores calculados pelo teste *t-Student* (Equação 5) para os dois modelos analisados, *scanner X GNSS* estavam no intervalo de aceitação da Equação 6. Para um nível de significância $(1 - \alpha)$ igual a 95% ($\alpha = 0,05$), que neste estudo, considerando os 14 pontos de referência utilizados na análise e 13 (N-1) graus de liberdade, obtém-se o valor pelo teste *t-student* 2,022 (Tabela 10) $< 2,160$ (Anexo 2), aceitando a hipótese nula para os dois modelos testados.

Conforme os levantamentos de dados, pode-se identificar, através do gráfico (Figura 22), os comparativos das cotas de cada pontos adquiridos por meio do *scanner* x GNSS.

Tabela 10: Estatísticas das discrepâncias *SCANNER X GNSS*.

	Observada [m]	Referência [m]	Discrepância [m]
PONTO	SCANNER	GNSS	LIDAR - GNSS
1	695,973	695,768	0,205
2	695,265	695,301	-0,036
3	694,960	694,896	0,064
4	695,093	695,185	-0,092
5	689,785	689,901	-0,116
6	690,669	690,782	-0,113
7	690,516	690,575	-0,059
8	690,093	690,153	-0,060
9	690,676	690,887	-0,211
10	690,358	690,290	0,068
11	690,259	690,395	-0,136
12	691,446	691,532	-0,086
13	689,939	690,039	-0,100
14	689,696	689,822	-0,126
SOMA	9684,728	9685,526	-0,798
MEDIA	691,766	691,823	-0,057
VARIANCIA	5,276	5,005	0,010
DESVIO PADRÃO	2,384	2,322	0,105
QUI-QUADRADO DE KARL PEARSON			0,003
		C/ 5% <22,362 ACEITA Ho	
T STUDENT			2,022
		C/ 5% < 2,160 ACEITA Ho	

Fonte: Resultado do experimento.

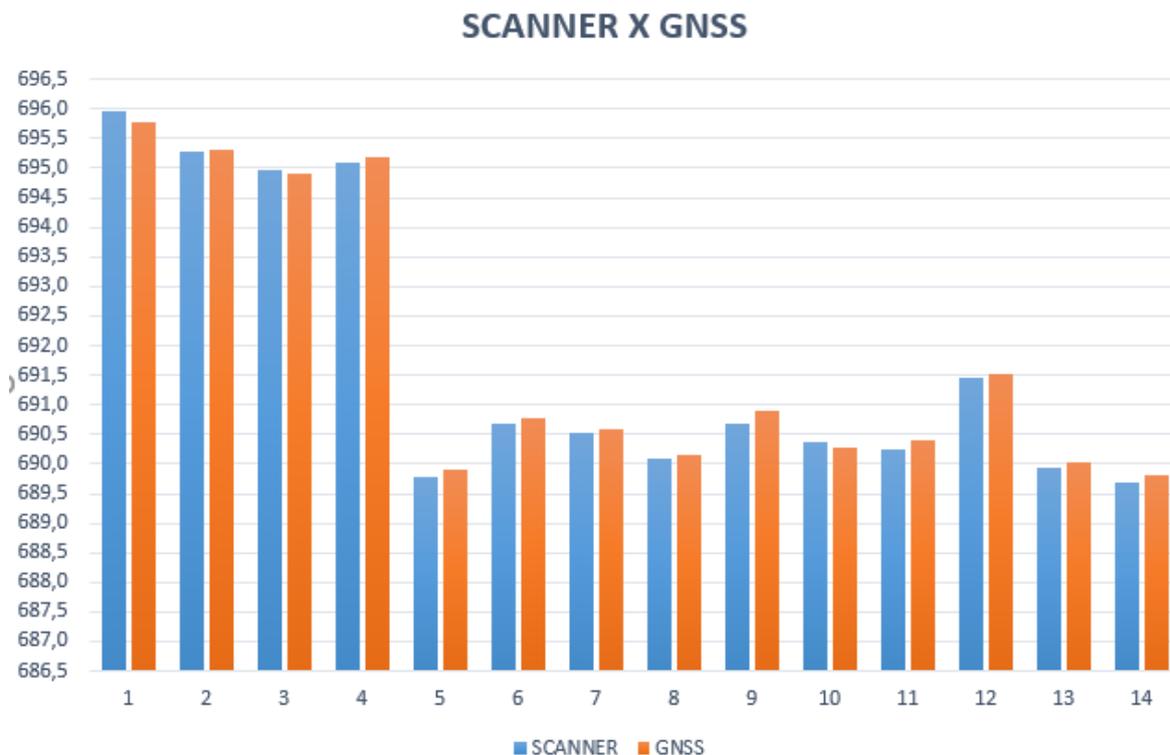


Figura 22: Gráfico comparativo dos pontos no *SCANNER* e *GNSS*

5.4 ANÁLISE GERAL

Analisou-se os dois métodos empregados neste trabalho, de forma geral verificando o gráfico da Figura 24, onde se faz a comparação entre as cotas levantadas no terreno com o equipamento geodésico, confrontando com as informações obtidas nos levantamentos com o VANT e o *scanner* topográfico. As variações encontradas se dão devido as diferentes metodologias empregadas.

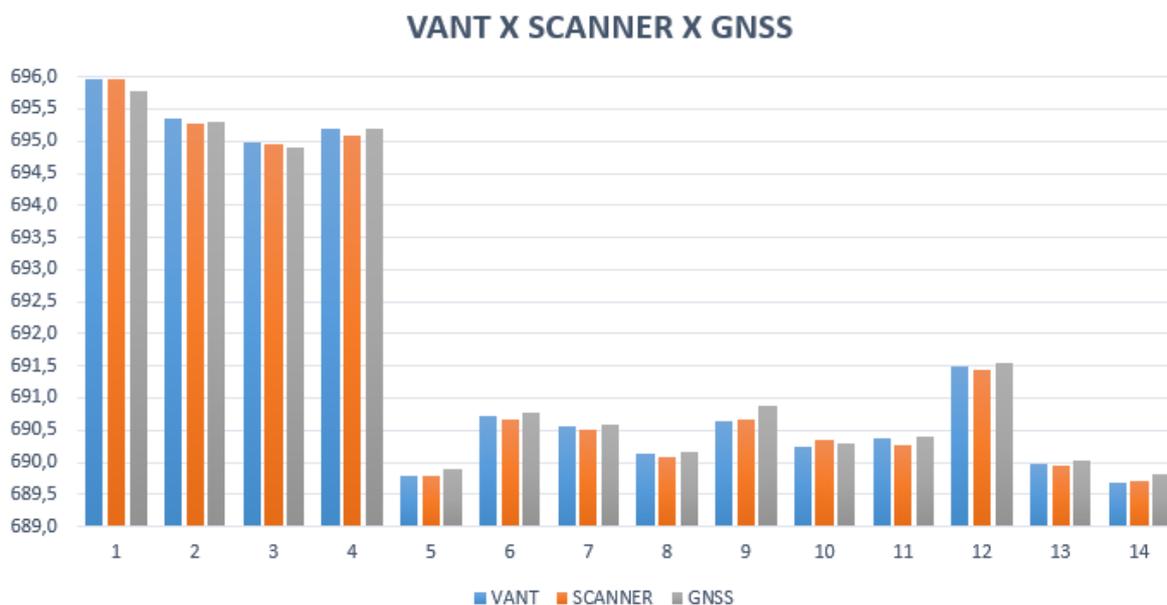


Figura 24: Gráfico comparativo dos pontos VANT, *Scanner* e GNSS

Pode-se concluir que o levantamento realizado com o VANT, permitiu a tomada de fotos de toda a superfície de forma uniforme, criando, assim, um modelo digital de terreno regular e coeso, obtendo um produto com acurácia acima do levantamento utilizando o *Scanner* e precisão bem próxima a ele. Desta maneira é possível dizer que este aparelho produz dados confiáveis, dentro do esperado a outras tecnologias de levantamentos altimétricos, possuindo a vantagem de alta produção, sendo possível sobrevoar uma grande área em poucos minutos, e se comparado com o *scanner*, possui um baixo custo.

Já o *scanner* topográfico também obteve um ótimo resultado em relação a precisão geodésica adotada, sendo que a análise de Qui-quadrado, o tornou mais preciso que o levantamento com o VANT, e o teste de *t-Student* se mostrou menos acurado que a outra modalidade de levantamento, mas ainda, dentro da tolerância esperada para este método, fato que ocorreu devido à quantidade reduzida de informações presentes na nuvem de pontos.

Pôde-se, também, fazer um comparativo de desempenho entre os equipamentos, onde analisou-se a área teste do estudo, ressaltando pontos importantes descritos na Tabela 11.

Tabela 11: Comparativo de desempenho entre o VANT e o *scanner*

	VANT	<i>Scanner</i>
Tempo de levantamento	8 min*	60 min.
Tempo de pós-processamento	3 horas	5 min.
N. de pessoas envolvidas	2 pessoas	3 Pessoas
Custo do equipamento	180 mil**	600 mil**
Segurança	Alta	Moderada
Acurácia	1,18 m	2,02 m

* Tempo de voo.

** Custo do Equipamento e software de processamento.

Fonte: www.cpetcnologia.com.br

Observa-se que o *scanner* demandou um tempo maior para realizar o levantamento da área de estudo, mas que foi compensado por não necessitar de realização de pós-processamento. Devido seu alto custo de investimento inicial necessário para utilizar o equipamento e baixa produtividade quando comparamos ao levantamento de VANT, é necessário avaliar o custo benefício do mesmo.

Já o VANT possui a vantagem de cobrir uma grande área em um pequeno espaço de tempo, mas o processamento dos dados é a parte mais demorada do processo. Outro fato é que o VANT sobrevoa áreas abertas, sendo inadequado para locais fechados, ambiente que o *scanner* atende de forma satisfatória. O VANT também traz segurança ao operador envolvido na atividade, visto que não é necessário estar no local de interesse para sobrevoá-lo.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos no estudo, pode-se concluir que ambos os métodos obtiveram resultados satisfatórios em relação ao referencial geodésico adotado, podendo afirmar que os equipamentos topográficos geram produtos com variâncias aceitáveis, permitindo a obtenção de informações tridimensionais da superfície com um nível de detalhamento superior a outros aparelhos no mercado, sendo possível utilizá-los inclusive no acompanhamento de área de risco ou de difícil acesso.

Pode-se afirmar que as variações ocorridas entre os dois equipamentos avaliados em relação ao receptor geodésico se dão devido aos métodos de levantamento serem realizados de formas diferentes, lembrando que o VANT coleta informações de cima do alvo, desta maneira a nuvem de pontos não irá possuir ausência de dados, fato que pode ocorrer no levantamento de *scanner*, pois o *LASER* do equipamento só reconhece a superfície a sua frente, gerando sombras que só serão corrigidas instalando o equipamento mais vezes em diferentes posições da área de estudo.

Entretanto, pode-se evidenciar que nem o VANT, nem o *scanner* são mais precisos do que o outro. O que podemos dizer é que, utilizando o mesmo referencial, ambos os levantamentos se tornam válidos referente a este, e que, a escolha adequada do equipamento, se dá devido ao custo benefício da atividade, sendo que, neste estudo o equipamento mais adequado seria o VANT devido ao baixo custo e a alta produtividade.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL – ANAC (2014) **Workshop para Regulamentação de RPAS**, 2., 2014, São José dos Campos. Memória das apresentações. Disponível em: <<http://www2.anac.gov.br/arquivos/pdf/apresentacao2Workshop.zip>> Acesso em 29 mar. 2018

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de Levantamento Topográfico. Rio de Janeiro: ABNT, 1994 corrigida em 1996. 35 p. Disponível em: <<http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=62519>>. Acessado em: 12 de maio de 2018.

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**. Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE. Disponível em: <<http://marte2.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/marte2/2015/06.15.15.10.43>>. Acessado em: 13 de março de 2018.

CASACA, João; MATOS, João; BAILO, Miguel. **Topografia Geral**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2005.

DELAZARI, L. S. **GNSS muito além do mapeamento**. Revista MundoGEO, 30 de junho de 2005. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2005/06/30/gnss-muito-alem-do-mapeamento/>>. Acessado em 12 de maio de 2018.

DOUBEK, A. **Topografia**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 1989.

EMOTION. VERSION 3 [S.I.]. Sensefly. 1CD-ROM, Cheseax Sur Lausanne – Switzerland, 2017.

ESPARTEL, Lélis. **Curso de topografia**. 9. ed. Rio Grande do Sul: Globo, 1987. 688 p.

EISENBEISS, H. **UAV Photogrammetry**. Doctor of Sciences, University of Technology Dresden, Germany, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005939264>>. Acessado em: 01 de junho de 2018.

FELIPE, Alexandre Luis da Silva. **Topografia convencional na aferição de área obtidas por georreferenciamento e Google Earth**. 2015. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, 2015. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq1321.pdf>>. Acessado em: 12 de março de 2018.

GALO, M.; Camargo, P. de O.; **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In.: COBRAC - 1994, 1o Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Tomo II, p. 41-48, Florianópolis - SC, 1994.

GINANI, L. S. **Desenvolvimento de um sistema de digitalização tridimensional de superfície baseado em visão computacional com varredura a LASER para o uso em metrologia dimensional**. 2008. 187 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Mecatrônicos). - Faculdade de tecnologia Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2011. Disponível em: <<http://repositorio.unb.br/handle/10482/7255>>. Acessado em: 15 de março de 2018.

GONÇALES, Rodrigo. **Dispositivo de varredura LASER 3D terrestre e suas aplicações na engenharia, com ênfase em túneis**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007. Disponível em: <[doi:10.11606/D.3.2007tde-10082007-173531](https://doi.org/10.11606/D.3.2007tde-10082007-173531)>. Acessado em: 05 de março de 2018.

JORGE, L. A. C.; BRANDÃO, Z. N.; INAMASU, R. Y. **Insights and recommendations of Use of UAV platforms in precision agriculture in Brazil**. (C. M. U. Neale & A. Maltese, Eds.) Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology XVI, v. 9239, n. 2004, p. 923911, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1117/12.2067450>>. Acessado em: 13 de março de 2018.

JUNIOR, L. R. A. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015 Disponível em:< <http://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/4952>>. Acessado em: 13 de março de 2018.

KAHMEN, H. FAÍG, W. **Surveying**. New York: deGruyter, 1988.

KASPER, M.; Kremen, T.; Stroner, M.; Tejkal, M.; Pospisil, J. **LASER scanning in civil engineering and land surveying**. Czach: Vega, 2004.

KRAUS, K., **Photogrammetry - geometry from images and LASER Scans**. Germany: deGruyter, 2007.

LEICA GEOSYSTEMS HDS LLC. **Cyrax Cyclone versão 6.0.3 e escâner terrestre HDS3000**. Conjunto de programas e equipamentos, 2011. Disponível em: <http://www.leica-geosystems.com.br/br/index.htm>>. Acessado em: 23 de maio de 2018.

LIDAR – **Light Detection and Ranging**. Disponível em:< <http://www.lidar.com.br/tecnologia.htm>>. Acessado em 10 de maio de 2018.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTs para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação de monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 163 f. Dissertação (Mestrado Engenharia De Transportes e geoprocessamento). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Disponível em:<[doi.10.11606/d.3.2010.tde-10012011-105505](https://doi.org/10.11606/d.3.2010.tde-10012011-105505)>. Acessado em 25 de maio de 2018.

LUO, Y. et al. **Analysis of tunnel displacement accuracy with total station**. Measurement, v. 83, p. 29-37, jan, 2016.

MCCORMAC, Jack. **Topography**. Nova York: Ltc, 2007.

MELO, Roseneia Rodrigues Santos de. **Diretrizes para inspeção de segurança em canteiros de obra por meio de imageamento com veículo aéreo não tripulado (VANT)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Civil, Universidade Federal Da Bahia, Salvador, 2016. Disponível em: <<http://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/22635>>. Acessado em: 18 de março de 2018.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 476 p

MORETTIN, Luiz Gonzaga. **Estatística Básica: Probabilidade e Interferência**. São Paulo: Pearson, 2010.

NAGALLI, Andre. **Estabilidade de taludes em rocha com aplicação de escâner a LASER – caso da mina Siavá, Rio Branco Do Sul, PR**. 2010. 142 f. Tese (Doutorado) - Curso de Geologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010. Disponível em:<<http://hdl.handle.net/1884/24967>>. Acessado em 25 de maio 2018.

PEREIRA, Julio Cesar Rodrigues. **Análise de dados Quantitativos: estratégias metodológicas para as ciencias da saúde humana e sociais**. São Paulo: Edusp, 1999. 146 p.

PEGORARO, A. J.; Philips, J. W. **Quadrirrotores/Microdrone como portadores de geosensores aplicados ao cadastro territorial**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 8461-8468. On-line. ISBN 978-85-17-00056-0. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW/3A2QGQB>>. Acessado em: 28 de março de 2018.

PFEIFER, N; BRIESE, C. Geometrical aspects of airborne LASER scanning and terrestrial LASER scanning. In: **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. ISPRS Workshop on LASER Scanning 2007 and Silvi LASER 2007, Espoo, 12-14 September 2007, Finlandandia , v. 36, n. 3/W52, p.

311–318, 2007. Disponível em: <http://www.isprs.org/proceedings/xxxvi/3-w52/final_papers/pfeifer_2007_keynote.pdf>. Acessado em: 15 de maio de 2018.

PINTO, Leandro de Mello. **Altimetria com topografia convencional e sensoriamento remoto**. 2012. 96 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geomatica, Centro de Ciências Rurais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufsm.br/handle/1/9559>>. Acessado em: 12 de março de 2018.

PUSCOV, J. **Flight System Implementation in UAV**. Examensarbete utfört vid fysikinstitutionen, KTH, SCFAB. Somaren-Hosten, 2002.

RAMOS, D. **Geodésia na prática**. Araraquara: MDATA Informática Ltda., 1999.

SHAN, J.; TOTH, C. K. **Topographic LASER ranging and scanning: principles and processing**. Florida: CRC press, 2008.

SCHULZ, Thorsten. **Calibration of a terrestrial LASER Scanner for engineering geodesy**. Zürich, 2008. Tese (Doutorado) - Technical University of Berlin, 2007. Disponível em: <<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005368245>>. Acessado em 19 de março de 2018.

SILVA, I.; SEGANTINE, P.C.L. **Topografia para engenharia: teoria e prática da geomática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

SILVA, E. T. J. B. **Veículos Aéreos Não Tripulados: panorama atual e perspectivas para o monitoramento de atividades ilícitas na Amazônia**. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. Disponível em: <<http://urlib.net/3ERPFQRTRW34M/3E7G88S>>. Acessado em: 15 de maio de 2018.

SILVEIRA, L.C. **Fundamentos de topografia**. Criciúma: Escola Brasileira de Agrimensura, Curso Técnico de Agrimensura a Distância, 2000. p.381-502

SOUZA, Genival Corrêa de. **Análise de metodologias no levantamento de dados espaciais para cadastro urbano**. 2001. Dissertação (Mestrado em Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2001. Disponível em:<doi: 10.11606/D.18.2001.tde-11022003-164819>. Acessado em: 05 de maio de 2018.

SOUZA, H. L. **Sensoriamento Remoto com VANTs: uma nova possibilidade para a aquisição de geoinformações**. R. bras. Geom., Curitiba, v. 5, n. 3, p. 326-342, jul/set. 2017. Disponível em:< DOI: 10.3895/rbgeo.v5n3.5511>. Acesso em: 01 de junho de 2018.

TRAGUETA, Neiva Luciana. **Implicações do uso de receptores GPS de navegação sem conhecimento de suas limitações e configurações básicas**. 2008. viii, 78 f. Dissertação (mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu, 2008. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/90725>>. Acessado em: 9 de março de 2018.

ZANOTTA, Daniel Capella; CAPPELLETTO, Eliane; MATSUOKA, Marcelo Tomio. **O GPS: unindo ciência e tecnologia em aulas de física**. Rev. Bras. Ensino Física, São Paulo, v. 33, n. 2, p. 1-6, Junho 2011. Disponível em.:<<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172011000200014>>. Acessado em 25 de maio de 2018.

WOLF, P. R.; BRINKER, R. C. **Elementary surveying**. New York: Harper Collins Publisher, 1994.

8. ANEXOS

ANEXO 1: TABELA DISTRIBUIÇÃO DO QUI-QUADRADO

gl	0,995	0,990	0,975	0,950	0,900	0,500	0,100	0,050	0,025	0,010	0,005
1	0,000	0,000	0,001	0,004	0,016	0,455	2,706	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,010	0,020	0,051	0,103	0,211	1,386	4,605	5,991	7,378	9,210	10,597
3	0,072	0,115	0,216	0,352	0,584	2,366	6,251	7,815	9,348	11,345	12,838
4	0,207	0,297	0,484	0,711	1,064	3,357	7,779	9,488	11,143	13,277	14,860
5	0,412	0,554	0,831	1,145	1,610	4,351	9,236	11,070	12,833	15,086	16,750
6	0,676	0,872	1,237	1,635	2,204	5,348	10,645	12,592	14,449	16,812	18,548
7	0,989	1,239	1,690	2,167	2,833	6,346	12,017	14,067	16,013	18,475	20,278
8	1,344	1,646	2,180	2,733	3,490	7,344	13,362	15,507	17,535	20,090	21,955
9	1,735	2,088	2,700	3,325	4,168	8,343	14,684	16,919	19,023	21,666	23,589
10	2,156	2,558	3,247	3,940	4,865	9,342	15,987	18,307	20,483	23,209	25,188
11	2,603	3,053	3,816	4,575	5,578	10,341	17,275	19,675	21,920	24,725	26,757
12	3,074	3,571	4,404	5,226	6,304	11,340	18,549	21,026	23,337	26,217	28,300
13	3,565	4,107	5,009	5,892	7,042	12,340	19,812	22,362	24,736	27,688	29,819
14	4,075	4,660	5,629	6,571	7,790	13,339	21,064	23,685	26,119	29,141	31,319
15	4,601	5,229	6,262	7,261	8,547	14,339	22,307	24,996	27,488	30,578	32,801
16	5,142	5,812	6,908	7,962	9,312	15,338	23,542	26,296	28,845	32,000	34,267
17	5,697	6,408	7,564	8,672	10,085	16,338	24,769	27,587	30,191	33,409	35,718
18	6,265	7,015	8,231	9,390	10,865	17,338	25,989	28,869	31,526	34,805	37,156
19	6,844	7,633	8,907	10,117	11,651	18,338	27,204	30,144	32,852	36,191	38,582
20	7,434	8,260	9,591	10,851	12,443	19,337	28,412	31,410	34,170	37,566	39,997
21	8,034	8,897	10,283	11,591	13,240	20,337	29,615	32,671	35,479	38,932	41,401
22	8,643	9,542	10,982	12,338	14,041	21,337	30,813	33,924	36,781	40,289	42,796
23	9,260	10,196	11,689	13,091	14,848	22,337	32,007	35,172	38,076	41,638	44,181
24	9,886	10,856	12,401	13,848	15,659	23,337	33,196	36,415	39,364	42,980	45,559
25	10,520	11,524	13,120	14,611	16,473	24,337	34,382	37,652	40,646	44,314	46,928
26	11,160	12,198	13,844	15,379	17,292	25,336	35,563	38,885	41,923	45,642	48,290
27	11,808	12,879	14,573	16,151	18,114	26,336	36,741	40,113	43,195	46,963	49,645
28	12,461	13,565	15,308	16,928	18,939	27,336	37,916	41,337	44,461	48,278	50,993
29	13,121	14,256	16,047	17,708	19,768	28,336	39,087	42,557	45,722	49,588	52,336
30	13,787	14,953	16,791	18,493	20,599	29,336	40,256	43,773	46,979	50,892	53,672
35	17,192	18,509	20,569	22,465	24,797	34,336	46,059	49,802	53,203	57,342	60,275
40	20,707	22,164	24,433	26,509	29,051	39,335	51,805	55,758	59,342	63,691	66,766
45	24,311	25,901	28,366	30,612	33,350	44,335	57,505	61,656	65,410	69,957	73,166
50	27,991	29,707	32,357	34,764	37,689	49,335	63,167	67,505	71,420	76,154	79,490
55	31,735	33,570	36,398	38,958	42,060	54,335	68,796	73,311	77,380	82,292	85,749
60	35,534	37,485	40,482	43,188	46,459	59,335	74,397	79,082	83,298	88,379	91,952
70	43,275	45,442	48,758	51,739	55,329	69,334	85,527	90,531	95,023	100,425	104,215
80	51,172	53,540	57,153	60,391	64,278	79,334	96,578	101,879	106,629	112,329	116,321
90	59,196	61,754	65,647	69,126	73,291	89,334	107,565	113,145	118,136	124,116	128,299
100	67,328	70,065	74,222	77,929	82,358	99,334	118,498	124,342	129,561	135,807	140,169
110	75,550	78,458	82,867	86,792	91,471	109,334	129,385	135,480	140,917	147,414	151,948
120	83,852	86,923	91,573	95,705	100,624	119,334	140,233	146,567	152,211	158,950	163,648

ANEXO 2: TABELA DISTRIBUIÇÃO T-STUDENT

Distribuição t-Student : Valores t_c tais que $P(-t_c \leq t \leq t_c) = 1 - p$

	p->90%	80%	70%	60%	50%	40%	30%	20%	10%	5%	4%	2%	1%	0.2%	0.1%	
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314	12,706	15,894	31,821	63,656	318,289	636,578	1
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920	4,303	4,849	6,965	9,925	22,328	31,600	2
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353	3,182	3,462	4,541	5,841	10,214	12,924	3
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132	2,776	2,999	3,747	4,604	7,173	8,610	4
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015	2,571	2,757	3,365	4,032	5,894	6,869	5
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943	2,447	2,612	3,143	3,707	5,208	5,959	6
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895	2,365	2,517	2,998	3,499	4,785	5,408	7
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860	2,306	2,449	2,896	3,355	4,501	5,041	8
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833	2,262	2,398	2,821	3,250	4,297	4,781	9
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812	2,228	2,359	2,764	3,169	4,144	4,587	10
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796	2,201	2,328	2,718	3,106	4,025	4,437	11
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782	2,179	2,303	2,681	3,055	3,930	4,318	12
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771	2,160	2,282	2,650	3,012	3,852	4,221	13
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761	2,145	2,264	2,624	2,977	3,787	4,140	14
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753	2,131	2,249	2,602	2,947	3,733	4,073	15
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746	2,120	2,235	2,583	2,921	3,686	4,015	16
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740	2,110	2,224	2,567	2,898	3,646	3,965	17
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734	2,101	2,214	2,552	2,878	3,610	3,922	18
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729	2,093	2,205	2,539	2,861	3,579	3,883	19
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725	2,086	2,197	2,528	2,845	3,552	3,850	20
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721	2,080	2,189	2,518	2,831	3,527	3,819	21
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717	2,074	2,183	2,508	2,819	3,505	3,792	22
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714	2,069	2,177	2,500	2,807	3,485	3,768	23
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711	2,064	2,172	2,492	2,797	3,467	3,745	24
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708	2,060	2,167	2,485	2,787	3,450	3,725	25
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706	2,056	2,162	2,479	2,779	3,435	3,707	26
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703	2,052	2,158	2,473	2,771	3,421	3,689	27
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701	2,048	2,154	2,467	2,763	3,408	3,674	28
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699	2,045	2,150	2,462	2,756	3,396	3,660	29
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697	2,042	2,147	2,457	2,750	3,385	3,646	30
35	0,127	0,255	0,388	0,529	0,682	0,852	1,052	1,306	1,690	2,030	2,133	2,438	2,724	3,340	3,591	35
40	0,126	0,255	0,388	0,529	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684	2,021	2,123	2,423	2,704	3,307	3,551	40
50	0,126	0,255	0,388	0,528	0,679	0,849	1,047	1,299	1,676	2,009	2,109	2,403	2,678	3,261	3,496	50
60	0,126	0,254	0,387	0,527	0,679	0,848	1,045	1,296	1,671	2,000	2,099	2,390	2,660	3,232	3,460	60
120	0,126	0,254	0,386	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658	1,980	2,076	2,358	2,617	3,160	3,373	120
∞	0,126	0,253	0,385	0,524	0,675	0,842	1,036	1,282	1,645	1,960	2,054	2,327	2,576	3,091	3,291	∞