



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

DAVID HARLEY DE OLIVEIRA SARAIVA

USO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS OBTIDOS DE UMA AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE
ENGENHARIA

FORTALEZA - CE

2019

DAVID HARLEY DE OLIVEIRA SARAIVA

USO DE PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS OBTIDOS DE UMA AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE
ENGENHARIA

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Arielle Elias Arantes

FORTALEZA – CE

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S246u Saraiva, David Harley de Oliveira.

Uso de produtos fotogramétricos obtidos de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) para a elaboração de projetos de engenharia / David Harley de Oliveira Saraiva. – 2019.
70 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2019.

Orientação: Profa. Dra. Arielle Elias Arantes.

1. Topografia. 2. Engenharia. 3. Geoprocessamento. 4. Aeronaves remotamente pilotadas. I. Título.
CDD 620

DAVID HARLEY DE OLIVEIRA SARAIVA

USO DE PRODUTOS FOTOGRAFÉTRICOS OBTIDOS DE UMA AERONAVE
REMOTAMENTE PILOTADA (RPA) PARA A ELABORAÇÃO DE PROJETOS DE
ENGENHARIA

Monografia apresentada ao curso de
Engenharia Civil da Universidade Federal do
Ceará, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 06/12/2019.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Arielle Elias Arantes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Maria Elisabeth Pinheiro Moreira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Francisco Heber Lacerda de Oliveira
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por toda provisão ao longo desses cinco anos e em toda a minha vida, pela sabedoria, por me abençoar muito mais do que eu mereço.

Aos meus pais, Socorro e José, por não medirem esforços para que eu pudesse me mudar para Fortaleza, que mesmo diante de todas as dificuldades estiveram ao meu lado me amparando e me auxiliando. À minha irmã Ávila, por todos os momentos de descontração, de carinho e companhia. Aos meus avós, em especial à Francisca Amâncio, por todo carinho e atenção ao longo desses anos, por sempre me ouvir e me entender. Aos meus tios e primos, responsáveis por parte das minhas risadas e admiração, a Fabiano Nogueira, *in memoriam*.

À professora Doutora Arielle Elias Arantes, por aceitar o convite de orientação, pelo estímulo e apoio prestado na execução de todo projeto, por todas as reuniões realizadas durante horas em sua sala demonstrando paciência e atenção em todas as correções.

Aos professores Doutor Francisco Heber Lacerda de Oliveira e Doutora Maria Elisabeth Pinheiro Moreira, aos quais tenho igual admiração, pela disponibilidade em participar da banca de avaliação deste projeto.

Aos amigos que carregou desde o ensino médio, que me ajudaram a sonhar, que estiveram juntos comigo em todo processo de aprovação até a Universidade, e que permanecem até hoje, nos encontros programados, ou não, em Morada Nova.

Aos amigos que a graduação me proporcionou, este grupo que é a união de vários outros, mas único e tão importante para superar os dias de luta na Universidade. À Andrezza, Ado, Mateus Lira, Altanízio, Edgar e André, pelas longas noites de véspera de prova e entrega de trabalhos, as primeiras amizades que conquistei dentro da UFC e tenho grande afeto. À Renata e Beliza, companheiras de graduação e vizinhas por um tempo, por toda companhia na Universidade que também se estendia durante os fins de semanas e feriados. À Isabel, Diego e Janaina pela parceria dentro e fora da Universidade, durante o estágio na Secretaria das Cidades. Ao Gabriel, Kaio, Lucas Sousa, Lucas Moreira, Matheus Pires, Jonas, Aldayanny e Luanna, que sempre estiveram presentes durante a graduação. Ao João Lucas e Jéssica, pelas risadas intempestivas, pelas brincadeiras que alegraram os meus dias.

Ao Jeimson Rodrigues e José Jussê da empresa AGEOTOP, pelo apoio durante o treinamento e processamento dos dados. Igualmente ao Paulo Henriques, da empresa Geodata Engenharia, pelo fornecimento dos dados para este trabalho.

“Sobre ser feliz. É mais que realizar sonhos, é aceitar-se como se é, e entender que a realização de cada um destes sonhos acontece como deveriam, e não como imaginávamos.”

David Harley

RESUMO

Em projetos de engenharia, inicialmente são aplicados os conhecimentos de topografia convencional como uma técnica já consagrada para o reconhecimento do terreno, suas coordenadas e características preponderantes. No entanto, os levantamentos topográficos podem ser operacionalmente complexos e de longa duração. Ante a isso, novas técnicas de geoprocessamento e determinação de coordenadas têm surgido como uma maneira de auxiliar a tomada de decisão de projetos de engenharia fornecendo dados semelhantes aos da topografia convencional, como é o caso das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), usualmente chamadas de drones, que possui sensores embarcados capazes de captar fotografias georreferenciadas do solo. Nesse sentido, este projeto buscou incorporar o uso de projetos fotogramétricos na elaboração de projetos de engenharia, avaliando o custo, o tempo de execução e as precisões de um aerolevante realizado no Centro Integrado de Modelismo, em Eusébio – Ceará. Como resultado o levantamento mostrou-se eficiente e com precisões dentro do que estabelece a legislação brasileira, pois o erro planimétrico obtido foi de 0,035m, enquanto é tolerado pelo Padrão de Exatidão Cartográfica um erro de até 1,75m para a escala da carta. Além disso, os resultados mostraram que para este levantamento, até três pontos de controle seriam suficientes para obter um erro médio quadrático mínimo. Quanto à produtividade, a relação tempo de serviço por hectare foi de 18 minutos por hectare, quanto aos custos a aquisição de todos os equipamentos é da ordem de R\$ 85.000,00, porém, os mesmos materiais podem ser alugados para realizar atividades de levantamento. Vale ressaltar que os produtos gerados, como os modelos digitais e o ortomosaico apresentaram um bom nível de detalhamento se comparado à topografia convencional.

Palavras chaves: topografia, engenharia, geoprocessamento, aeronaves remotamente pilotadas.

ABSTRACT

In engineering projects, the knowledge of conventional topography is initially applied as a technique already recognized for the recognition of the terrain, its coordinates, and preponderant characteristics. However, topographic surveys can be operationally complex and long-lasting. In the light of this, new geoprocessing and coordinate determination techniques have emerged as a way to aid decision making in engineering projects by providing data similar to conventional topography, such as the remotely piloted aircraft (RPA), commonly called drones, which have embedded sensors capable of capturing georeferenced photographs of the ground. In this sense, this project sought to incorporate the use of photogrammetric projects in the elaboration of engineering projects, evaluating the cost, execution time and precision of an aerial survey carried out at the Integrated Modeling Center, in Eusébio - Ceará. As a result or survey proved to be efficient and accurate within the Brazilian law, as the planned electrical error was 0.035m, while tolerated by the Cartographic Accuracy Standard and error up to 1.75m for a chart scale. In addition, the results shown for this survey, up to three control points allowed to obtain a minimum mean square error. Regarding execution time, a service time per hectare ratio was 18 minutes per hectare, how much it costs to purchase all equipment and orders of R\$ 85,000.00, however, the same materials can be rented to perform survey. It is noteworthy that the generated products, such as digital and orthomatic models, show a good level of detail compared to conventional topography.

Keywords: topography, engineering, geoprocessing, remotely piloted aircraft.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - poligonal fechada.....	17
Figura 2 - Poligonal aberta	17
Figura 3 - Drone asa fixa	20
Figura 4 - Drone asa rotativa	20
Figura 5 - Tipos de operação por RPA	22
Figura 6 - Sobreposição de voo	24
Figura 7 - Método de aerotriangulação.....	26
Figura 8 - Diferença entre o MDS e o MDT	28
Figura 9 - Receptor GNSS e o uso do método RTK	29
Figura 10 - Demonstração da superfície terrestre.....	30
Figura 11 - Drone <i>Parrot Anafi Work</i>	36
Figura 12 - Etapas do levantamento	37
Figura 13 – Localização da área de estudo.....	38
Figura 14 - Sinalização dos pontos.....	39
Figura 15 - Localização dos pontos.....	41
Figura 16 - Sequência de fotografias tiradas pela RPA.....	42
Figura 17 - Nuvem de pontos	47
Figura 18 - Ortomosaico.....	48
Figura 19 - Número de pontos de controle x Erro médio quadrático x Número de Imagens	49
Figura 20 - Área de ampliação da PPD	54
Figura 21 - Malha triangular da PPD.....	55
Figura 22 – Seção de aterro da PPD	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Custo de locação topográfica	18
Tabela 2 - Classificação de RPAS	21
Tabela 3 - Regulamentação ANAC	22
Tabela 4 - Classificação cartográfica.....	30
Tabela 5 - Características do drone utilizado no levantamento.....	36
Tabela 6 - Propriedades do levantamento.....	39
Tabela 7 – Pontos de controle e checagem.....	40
Tabela 8 - Tolerância planimétrica.....	50
Tabela 9 - Tolerância Altimétrica.....	51
Tabela 10 - Duração das Etapas do Levantamento.....	52
Tabela 11 - Aquisição de materiais	53

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANAC	Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	Agência Nacional de Telecomunicações
BVLOS	<i>Beyond Visual Line-Of-Sight</i>
CCD	<i>Charge coupled devices</i>
CMOS	<i>Complementary metal-oxide semiconductors</i>
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EVELO	<i>Extended Visual Line-Of-Sight</i>
GPS	Global Positioning System
GSD	<i>Ground sample distance</i>
GNSS	Global Navigation Satellite System
LIDAR	Light Detection and Ranging
MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PPD	Pista de Pouso e Decolagem
RBAC-E	Regulamento Brasileiro de Aviação Civil Especial
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
RGB	<i>Red, Green, Blue</i>
RPAS	<i>Remotely piloted aircraft systems</i>
RTK	Real Time Kinematic
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VLOS	<i>Visual Line-Of-Sight</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Contextualização	12
1.2	Problema de Pesquisa	13
1.3	Justificativa	14
1.4	Objetivos	14
1.5	Estrutura da Monografia	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	Topografia Convencional	16
2.1.1	Custos de um levantamento topográfico	18
2.2	Aerofotogrametria	19
2.2.1	Tipos e Classes de RPA	19
2.2.2	Normas de Levantamento	21
2.2.3	Componentes de uma RPA multirrotor	22
2.2.4	Etapas do aerolevanteamento	23
2.2.4.1	Plano de voo	23
2.2.4.2	Execução de voo	25
2.2.4.3	Processamento de dados	25
2.2.4.4	Produtos Gerados na Aerofotogrametria	27
2.3	Sistema GNSS e RTK	28
2.4	Legislação Cartográfica	30
2.5	Estado da arte	31
3	ESTUDO DE CASO	35
3.1	Materiais	35
3.2	Método	37

3.2.1	Etapas do Levantamento	37
3.2.1.1	Delimitação da área	38
3.2.1.2	Plano de voo	38
3.2.1.3	Sinalização dos marcos	39
3.2.1.4	Plano de voo pelo Pix4D Capture	41
3.2.1.5	Aerolevantamento	42
3.2.1.6	Processamento de dados	42
3.2.2	Sensibilidade dos Pontos de Controle e Imagens	43
3.2.3	Análise pela Legislação Cartográfica	43
3.2.4	Percepção de tempo e custo de levantamento	44
3.2.5	Terraplanagem	45
4	APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	46
4.1	Processamento de dados	46
4.2	Análise de Sensibilidade dos Pontos de Controle	48
4.3	Legislação Cartográfica	50
4.4	Tempo de serviço	51
4.5	Custo de serviço	53
4.6	Ampliação da Pista de Pouso e Decolagem	54
5	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	56
5.1	Conclusões	56
5.2	Recomendações	57
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	APÊNDICE – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO AGISOFT	63

1 INTRODUÇÃO

No capítulo de introdução é abordada uma breve contextualização do tema de estudo com uma abordagem relacionando a topografia convencional à topografia por RPA. São apresentados ainda os problemas que levaram à pesquisa e sua justificativa, bem como os objetivos geral e específicos deste trabalho.

1.1 Contextualização

Em projetos de engenharia, a topografia é amplamente utilizada na fase de reconhecimento e locação. Seja em infraestrutura de transportes para projetos de terraplanagem ou obras ao longo do trecho da rodovia, ou ainda na construção civil em obras hidráulicas, como a construção de barragens e a elaboração de projetos de saneamento básico. Para isso, o levantamento planialtimétrico fornece à equipe de engenharia a planta topográfica, as curvas de nível, o modelo numérico do terreno (MNT) e modelagens tridimensionais (JERONYMO e PEREIRA, 2015).

No entanto, os trabalhos de campo realizados pela topografia convencional podem ser exaustivos e demandam um considerável intervalo de tempo, sendo que as principais etapas são o planejamento e a execução do levantamento. Na etapa de planejamento, deve-se primeiramente determinar a área a ser levantada e estimar o número de topógrafos e equipamentos a serem utilizados, assim como definir a rede de pontos de apoio com coordenadas georreferenciadas. Posteriormente, implanta-se os marcos topográficos e percorre-se a poligonal realizando os procedimentos de campo, segundo estabelecido pela norma de execução de levantamentos topográficos, a NBR 13.133/1994 (AZAMBUJA e MATSUOKA, 2007). Lima (2018) afirma que seu levantamento topográfico levou dois dias para ser realizado totalmente e quatro horas para finalizar todo o processamento de uma área de cerca de 12 hectares, de pouca vegetação e edificações em seu entorno. É válido ressaltar, no entanto que essa duração depende das habilidades do operador.

Embora levantamentos planialtimétricos no âmbito da topografia convencional sejam utilizados na elaboração de pré-projetos e projetos de engenharia, recentemente, com o surgimento de novas Geotecnologias, sejam os Sistemas de Posicionamento Global por Satélite (GNSS) e a aerofotogrametria por Aeronaves Remotamente Pilotadas, do inglês,

Remotely Piloted Aircraft (RPA), tem sido possível a obtenção de informações de posicionamento com menor custo e tempo. Contudo, ainda há entraves técnicos e operacionais para o uso dessas novas tecnologias para projetos de engenharia. Uma das dificuldades apresentadas é a normatização para trabalhos de engenharia. Almeida *et al.* (2016) argumentam que os produtos de mapeamento aerofotogramétrico que adotam as RPA ainda necessitam de otimização para se firmarem definitivamente como uma alternativa, pois trata-se de uma tecnologia em desenvolvimento.

Diante desse cenário, estudos já estão sendo realizados na tentativa de avaliar a precisão posicional desses dados e suas possibilidades operacionais. Felipe (2015) verificou a similaridade entre as coordenadas obtidas com uma Estação Total, com um receptor GNSS e com o *Google Earth*, mostrando que as coordenadas planimétricas obtidas com a Estação Total e com um receptor GNSS foram próximas, apresentando maior diferença destas com as coordenadas obtidas do *Google Earth*. Analogamente, Oliveira e Jesus (2018) comparam em seu trabalho a qualidade posicional de levantamentos por topografia convencional, *Global Positioning System* (GPS) e RPA para uma área de cinco hectares; nele os autores destacaram a similaridade nos resultados do levantamento com RPA com a Estação Total, sendo que a aerofotogrametria por RPA teve como vantagem a geração de um ortomosaico da área levantada.

1.2 Problema de Pesquisa

Como mostrado anteriormente, levantamentos topográficos convencionais por vezes consomem muito tempo, tornando-os mais caros em relação a novos métodos; e podem ser operacionalmente complexos, por requererem o uso de equipamentos específicos e de uma ou mais equipes de campo tecnicamente capacitadas. Além disso, devem ser adequados às necessidades de campo, como as características do terreno e à disponibilidade de equipamentos. Em contraponto, a aquisição de informações por meio de RPA é bastante promissora, mesmo que apresente obstáculos no que tange à normalização e ao tratamento dos produtos fornecidos.

1.3 Justificativa

Santana, Ramos e Ribeiro (2017) afirmam que o uso de aeronaves remotamente pilotadas para a caracterização altimétrica é bastante promissora, devido aos avanços dessa tecnologia. Nos últimos anos, há uma crescente utilização de aerolevantamentos em mapeamentos topográficos. Entretanto, este tipo de coleta de dados ainda apresenta entraves legais e operacionais (ALMEIDA *et al.*, 2016).

Conforme afirma Guimarães e Rios (2017), a regulamentação sobre o uso de RPA não se desenvolveu na mesma velocidade tecnológica, científica e de popularização das aeronaves e sistemas embarcados. Dessa forma, este trabalho justifica-se pela necessidade de investigar o uso de RPAS em levantamentos aerofotogramétricos como uma alternativa viável ao levantamento topográfico convencional na fase de pré-projeto e projeto de Engenharia Civil; explorando sua regulamentação, a caracterização de aeronaves, o processamento de imagens, o tratamento de dados e, finalmente, os produtos gerados.

1.4 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é avaliar o potencial do uso de produtos altimétricos e planimétricos, derivados de aerofotografias obtidas de uma RPA, para projetos de engenharia, traçando uma análise comparativa com a Topografia convencional em termos dos custos envolvidos, tempo de execução e precisões alcançadas.

Compreendidas as demandas que motivam ao objeto desta pesquisa, apresentam-se os objetivos específicos para o seu desenvolvimento:

- a. Avaliar a precisão e acurácia planimétrica do ortomosaico gerado a partir de fotografias com e sem o uso de pontos de controle no solo;
- b. Verificar em qual classe do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC se encaixa as coordenadas planimétricas e altimétricas do ortomosaico;
- c. Analisar criticamente a legislação para a geração de produtos cartográficos, atualmente vigente no Brasil.

1.5 Estrutura da Monografia

Buscando propiciar aos leitores um entendimento acerca do que foi estudado neste trabalho, a pesquisa foi estruturada da seguinte maneira:

No Capítulo 1 é abordada uma contextualização do tema, o problema que motivou a pesquisa a ser desenvolvida e sua justificativa, além dos objetivos geral e específicos que se almejam ao fim deste trabalho. No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica que embasa o trabalho, subdividido, tópico a tópico, em topografia convencional, levantamento por aeronaves remotamente pilotadas e o Sistema Global de Posicionamento por Satélite (GNSS), sendo citados os autores lidos, bem como suas contribuições para a pesquisa. O Capítulo 3 trata dos materiais utilizados no decorrer deste processo: área de estudo, equipamentos utilizados e programas computacionais de processamento de imagens. Além do método abordado para a síntese de resultados. No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos mediante a metodologia proposta, assim como as discussões do estudo. O Capítulo 5 aborda as conclusões mediante a análise dos resultados apresentados e as sugestões de trabalhos futuros. Posteriormente, são informadas as referências bibliográficas consultadas, os apêndices e anexos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Buscando traçar um comparativo entre a topografia convencional e o aerolevante realizado por meio de aeronaves remotamente pilotadas, este capítulo fundamenta-se em expor as principais características do levantamento topográfico e da aerofotogrametria. Sendo o segundo subdividido nos tipos de aeronaves, normas para levantamentos e componentes.

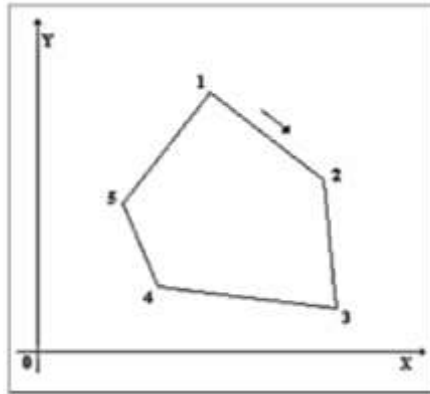
2.1 Topografia Convencional

A ABNT (1994) define o levantamento topográfico como conjunto de processos destinados a medir ângulos horizontais e verticais e distâncias, sejam elas horizontais ou inclinadas, em que se pretende determinar as coordenadas de pontos materializados no terreno, utilizando equipamentos que respeitem as exatidões pretendidas.

Para isso, um dos métodos mais empregados é o de poligonização, que consiste em realizar o caminhar no sentido horário ou anti-horário percorrendo-se todos os vértices da poligonal, obtendo para cada vértice os ângulos horizontais e verticais e as distâncias horizontais e inclinadas. A poligonal pode ser fechada, quando se inicia e encerra em um mesmo ponto de coordenadas conhecidas, ou aberta quando parte de um ponto e chega-se a outro ponto distinto, como mostram as Figuras 1 e 2 (VEIGA, ZANETTI, FAGGION, 2012).

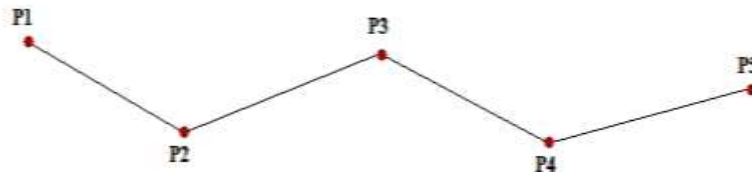
Para as poligonais fechadas, são definidos dois pontos com coordenadas conhecidas, os quais são utilizados para a definição da orientação inicial da poligonal. Nas poligonais abertas é necessário obter quatro pontos com coordenadas conhecidas, a fim de estimar o erro do levantamento. As coordenadas conhecidas são obtidas pelo transporte de coordenadas de um marco geodésico próximo, ou determinadas a partir do uso de um receptor GNSS geodésico.

Figura 1 - poligonal fechada



Fonte: Brandalize, 2008.

Figura 2 - Poligonal aberta



Fonte: autor, 2019.

Assim, utilizando-se de uma poligonal é possível definir as coordenadas de seus vértices e de outros pontos de interesse, denominados de pontos de detalhes, sendo que o método mais comumente utilizado para o levantamento de pontos de detalhe é o método de irradiação. Esse método consiste em utilizar-se uma linha de referência conhecida e a partir daí medir ângulos e distâncias com o equipamento estacionado em um ponto materializado no terreno. Com os pontos de detalhe é possível representar as feições do terreno e elaborar uma planta topográfica, uma curva de nível e um Modelo Digital do Terreno (MDT) (LIMA, 2018).

Segundo Brandalize (2008), a topografia convencional é largamente utilizada em projetos de engenharia e arquitetura, por isso ela é a base essencial para muitos projetos de

obras. Como por exemplo, trabalhos de obras viárias, núcleos habitacionais, edifícios, aeroportos, e sistemas de drenagem. Esses trabalhos podem demandar bastante tempo. Porém, Farah e Seixas (2010) afirmam que a utilização de estações totais, possibilitou a automatização de procedimentos em campo, já que a coleta de dados é realizada com o apoio de programas embutidos nos equipamentos, não descartando os processos de escritório.

2.1.1 Custos de um levantamento topográfico

Os custos para a realização de atividades em campo podem ter como base os valores fornecidos pela Secretaria de Infraestrutura do Ceará – Seinfra, para o serviço de locação topográfica. Em Infraestrutura (2019), a Tabela de Custos vigente de 21 de dezembro de 2018 até hoje, o serviço é composto por topógrafo, nivelador e ajudante, além dos equipamentos, e seu custo é dado em função da área do levantamento em hectares (Tabela 1).

Descrição	Unidade	Coefficiente	Preço	Total
Mão de Obra				
Topógrafo	H	5	32,69	163,45
Ajudante	H	4	16,28	65,12
Nivelador	H	4	24,29	97,16
Equipamentos				
Caminhonete	H	2	71,71	143,42
Nível	H	4	0,553	2,21
Teodolito	H	4	1,413	5,65
Total				477,01/ha

Fonte: Seinfra. 2019

Diferentemente da Tabela 1, outros trabalhos relacionam os custos com levantamento topográfico convencional à aquisição de equipamentos e *softwares*, este valor pode chegar até R\$ 28.500,00, nesse caso os equipamentos representam um custo de quase 90% do valor total (LIMA, 2018). Para a equipe de trabalho o número de topógrafos e auxiliares pode variar a depender da área levantada em hectares. Um estudo técnico apresentado pela DronEng mostrou que para um levantamento feito por topografia convencional foram necessários cinco profissionais para cobrir uma área de 3,1 hectares. Para esta mesma área levantada por aerofotogrametria com RPA foram necessários apenas três profissionais.

2.2 Aerofotogrametria

O levantamento por Aeronave Pilotada, Remotamente Pilotada ou Aeronave Autônoma é uma área da fotogrametria que possibilita a identificação de pontos que se deseja mapear de maneira indireta, através de fotografias obtidas com equipamento aéreo. Isso reduz consideravelmente o tempo de trabalho em campo das equipes responsáveis pela identificação do terreno (SANTOS *et al.*, 2011). Os registros aerofotogramétricos são analisados por engenheiros para projetos de estradas, áreas urbanas, áreas de drenagem e outros, por meio da fotointerpretação. Essa técnica consiste em examinar os objetos das fotografias tomadas e deduzir sobre eles alguma significação, obtendo dados qualitativos a partir de imagens (ALMEIDA e GIONGO, 2014).

As aerofotografias também fornecem dados quantitativos, visto que uma fotografia é uma matriz, composta de linhas e colunas, em que cada *pixel* da matriz possui três atributos principais: as coordenadas X e Y e um outro atributo, podendo ser a radiância, temperatura e altitude, a depender do sensor utilizado no levantamento aerofotogramétrico. A Radiância é uma medida da quantidade de Radiação Eletromagnética (REM) que é refletida de um objeto em determinado intervalo de comprimento de onda (MENESES e ALMEIDA, 2012). No caso de câmeras RGB, para um determinado pixel, além das coordenadas (X e Y), haverá outros três valores de radiância correspondentes aos canais do vermelho (R), verde (G) e Azul (B) (ROSALEN *et al.*, 2017).

O aerolevanteamento pode ser feito por aeronaves tripuladas ou não-tripuladas (Remotamente Pilotadas - RPAs e Aeronaves Autônomas), como tratado anteriormente. Atualmente o termo “drone” é um apelido utilizado para descrever qualquer aeronave não pilotada, independente da sua finalidade. De maneira geral, toda aeronave drone é considerada uma aeronave não tripulada (MANUAL DE ORIENTAÇÕES PARA USUÁRIOS DE DRONES, 2017).

2.2.1 Tipos e Classes de RPA

Quanto à diversidade de RPAs presentes no mercado, suas plataformas mais típicas são as de asa fixa ou asa rotativa, conhecida também por multirrotor. A Figura 3 apresenta a RPA de asa fixa; a Figura 4 um drone multirrotor. Nascimento *et al.* (2017), define-as como:

a) Asa fixa: aeronaves com asas similares às de um avião. Sua sustentação aerodinâmica se dá por meio do fluxo de ar entre suas asas.

b) Asa rotativa: são semelhantes a um helicóptero, compactos, de fácil operação e baixo custo. Geralmente possui um motor para a rotação das palhetas em cada um de seus vértices.

Figura 3 - Drone asa fixa



Fonte: Peixoto, 2018.

Figura 4 - Drone asa rotativa



Fonte: DJI, 2019.

Bastante utilizados atualmente, os drones multirrotores possuem inúmeras vantagens para fins específicos de trabalho e recreação. Dentre elas a capacidade de pousar e decolar em qualquer lugar, de permitir maiores tolerâncias para voo, inclusive com ventos fortes, e ter médio custo de aquisição, além de ser facilmente transportada (MEDEIROS, 2007). Além dos tipos de drones definidos acima, no Brasil, o Regulamento Brasileiro Aviação Civil Especial (ANAC, 2017), classifica as RPAs quanto ao seu peso máximo de decolagem, dividindo-as em três níveis: classe 1, 2 e 3 (Tabela 2):

Tabela 2 - Classificação de RPAS

Classe	Peso máximo de decolagem
Classe 1	Maior que 150 kg
Classe 2	Entre 25kg e 150 kg
Classe 3	Menor ou igual a 25 kg

Fonte: ANAC, 2017

De acordo com a ANAC (2019), os equipamentos de Classe 01 devem ser submetidos à certificação semelhante à de aeronaves tripuladas. Já aqueles que possuem até 250 gramas de peso máximo de decolagem não precisam ser cadastrados ou registrados, independente se o aparelho é recreativo ou não.

2.2.2 Normas de Levantamento

A regulamentação de RPA tem como principal instrumento a ANAC (2017). Há também a Instrução de Comando da Aeronáutica, Aéreo (2018) que trata do acesso ao espaço aéreo por aeronaves não tripuladas, desenvolvido pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Além destes dois órgãos governamentais, a regularização de RPAs passa também pela Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), responsável pela homologação de radiotransmissores das aeronaves.

Finalmente, para que o aparelho esteja apto a sobrevoar o espaço aéreo brasileiro, o equipamento deve ser cadastrado na ANAC, esse cadastro muitas vezes é realizado pelo próprio fabricante do modelo, e a autorização de voo emitida pelo DECEA, solicitada pelo operador (AÉREO, 2018). Além disso, muitas vezes as aeronaves sobrevoam locais onde há presença de terceiros, ou próxima a carros, prédios e construções. Por isso, é obrigatório ao proprietário contratar seguro contra danos (ANAC, 2017).

A Aéreo (2018) define três linhas de operação, de acordo com o alcance visual do operador e seu auxiliar. A Figura 5 ilustra os diferentes tipos de operação por RPA, sendo elas:

- a) Operação BVLOS: a RPA não é mantida dentro do alcance visual do piloto, mesmo com auxílio de observador;
- b) Operação VLOS: o piloto mantém contato com a RPA, sem o auxílio de lentes equipamentos;
- c) Operação EVLOS: há alcance visual do piloto para a RPA somente com auxílio de lentes e equipamentos.

Figura 5 - Tipos de operação por RPA



Fonte: ICA, 2018

As principais exigências da ANAC (2017) estão relacionadas ao registro da aeronave na ANAC, aprovação do projeto de voo pelo DECEA e limite de idade e certificado médico, a depender a classe do RPA e da linha de operação, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Regulamentação ANAC

Resumo da Regulamentação da ANAC

	RPA Classe I	RPA Classe II	RPA Classe III
Registro da aeronave	Obrigatório	Obrigatório	BVLOS: Obrigatório VLOS: Obrigatório
Aprovação ou autorização do projeto	Obrigatório	Obrigatório	Apenas para operação BVLOS ou acima de 400 pés (122 metros)
Limite de idade para operação	Obrigatório	Obrigatório	Obrigatório
Certificado médico	Obrigatório	Obrigatório	Não-obrigatório

Fonte: ANAC, 2017.

2.2.3 Componentes de uma RPA multirotor

Os sistemas de aeronaves remotamente pilotadas tem como carga ou payload a câmera, as baterias e o GPS que funcionam como sensores do equipamento. Segundo Costa (2008), os avanços na área possibilitaram a utilização de câmeras digitais de pequeno formato com imageamento de baixo custo. Com relação aos sensores, Rosalen *et al.* (2017) afirma que inicialmente estes restringiam-se a câmeras digitais comuns, dotadas de um sistema de cores, com os sensores RGB – *Red, green, blue*. Posteriormente, com avanços tecnológicos, os sensores do tipo LiDAR (*Light Detection And Ranging*), que permite modelar a superfície terrestre tridimensionalmente, foram incorporados às RPAs de pequeno porte. Há outros

sensores, como a câmera térmica, que tem a capacidade de medir temperaturas superficiais, sendo amplamente utilizada na agricultura para a detecção de áreas irrigadas e a câmera multiespectral, utilizada na modelagem da estrutura das copas das árvores (JORGE, 2003).

Quanto ao sistema de baterias, em sua maioria os RPAs são providos de baterias de *Lithium-Polymer* (LiPo) recarregáveis, devido ao seu alto rendimento para aplicações de aeromodelismo, com duração de até 30 minutos. São compostas por um conjunto de células de 3,7V, podendo variar de duas a oito células para veículos multirrotor (CANGUSSU; CAMPANO JUNIOR, 2015). Além das câmeras e baterias, o controle das aeronaves acontece de maneira remota, sob a supervisão humana, ou pré-programado com o uso de softwares computacionais. Essa supervisão é feita com o auxílio de rádio que possibilitam a comunicação entre o operador e a aeronave (BARUZZI, 2016).

2.2.4 Etapas do aerolevamento

As etapas do levantamento aerofotogramétrico dividem-se sumariamente em três, sendo elas: o plano de voo, a execução de voo e o processamento de dados. Cada uma dessas etapas é listada abaixo, apresentando quais as principais características são avaliadas em cada uma delas. Na fase de processamento de dados, são conceituadas as principais técnicas da qual se utiliza o processamento de dados.

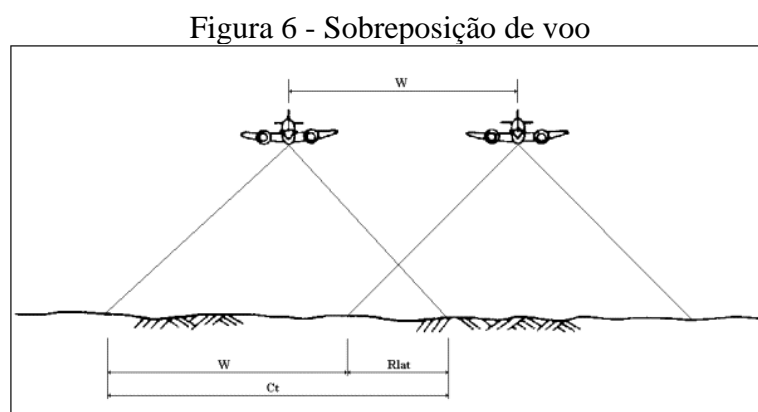
2.2.4.1 Plano de voo

No planejamento de voo deve-se levar em consideração algumas propriedades do RPA, como os sensores, a automação do sistema de baterias e a sobreposição de imagens com o objetivo de pré-determinar as características dos produtos cartográficos que se deseja obter (SILVA e BOTELHO, 2017). Durante essa etapa é necessário avaliar diversos fatores em campo a fim de garantir o sucesso da operação. Esses fatores podem ser de segurança, como proximidades às torres e linhas de transmissão, a aeroportos ou limite com áreas urbanas. Ou fatores ambientais, como a vegetação, o tamanho da copa de árvores e a presença de nuvens no céu, que interferem na luminosidade (FERREIRA *et al.*, 2013).

Além desses fatores, a qualidade das imagens geradas por um levantamento aéreo está diretamente ligada à distância à amostra de solo, ou GSD (do inglês, *ground sample distance*), que leva em conta o tamanho do pixel da imagem; a distância focal da câmera e a altura de voo. Desse modo, a altura de voo influencia diretamente nos produtos cartográficos.

Assim, o GSD é uma das variáveis mais importantes no processo de aerofotogrametria, isso porque é através dele que se garante um nível de detalhamento, ou seja, ele influencia diretamente também na resolução espacial do mapeamento (LUZ, 2015).

Por fim, no planejamento de voo define-se também a sobreposição lateral e longitudinal, que significa quanto uma foto irá incidir sobre a outra, sendo que o percentual de sobreposição influencia na qualidade do ortomosaico gerado, visto que quanto maior a sobreposição maior a quantidade de pontos em comum que o algoritmo computacional irá detectar (Figura 6). Ferreira *et al.* (2013) argumenta que é necessário garantir no mínimo 60% de sobreposição lateral e 70% de sobreposição longitudinal. A Figura 6 representa a sobreposição longitudinal durante o voo com RPA.



Fonte: Brandalize. 2008

Antes de iniciar o levantamento propriamente dito, é indispensável identificar pontos de coordenadas de alta precisão no solo, sendo normalmente obtidos por meio do uso de um receptor GNSS geodésico, sendo que esta etapa é fundamental para garantir uma acurácia no posicionamento de poucos centímetros. Isto porque o GPS a bordo de RPAs de baixo custo são receptores de navegação, os quais decodificam apenas o código C/A da onda portadora emitida pelo satélite, apresentando uma precisão de 3 a 5 m. Os receptores geodésicos decodificam o código P de maior precisão, além de serem na sua maioria de dupla frequência, isto é, detectam duas faixas de comprimento de onda ou ondas portadoras. As principais são as fases *L1* e *L2*, quando realizado o pós-processamento de dados, sua precisão chega a ser centimétrica, voltado principalmente para levantamentos topográficos e georreferenciamento de imóveis. Já os receptores de Navegação fazem a gravação das coordenadas obtidas, mas não registram as observáveis brutas e tem precisão de aproximadamente 10 metros, sendo utilizados, principalmente, na localização automotiva.

Os pontos de controle no solo devem ser facilmente identificáveis, podendo ser naturais ou artificiais. Brito (2007) afirma que quanto maior a quantidade de pontos de controle, melhores são os produtos gerados, essa quantidade dependerá da extensão da área que se deseja levantar. No entanto, convém verificar até onde é economicamente viável a instalação de tantos pontos de controle.

2.2.4.2 Execução de voo

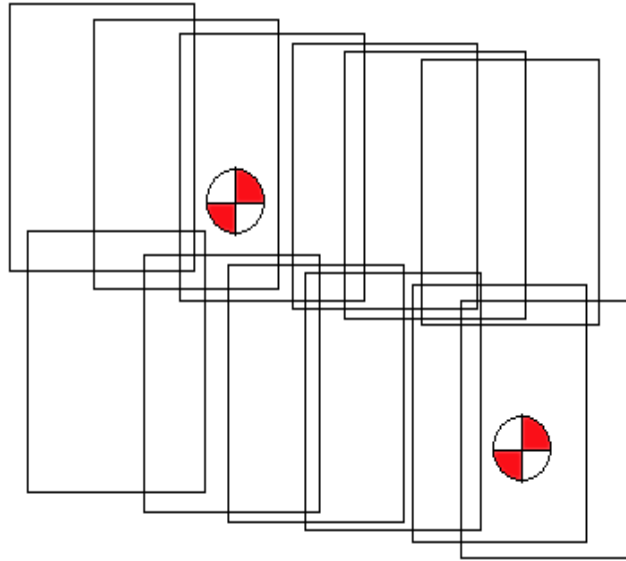
Com o plano de voo desenvolvido, a sinalização dos marcos de controle e a avaliação dos fatores ambientais de tempo e clima, é possível iniciar a coleta de dados, que consiste na tomada de imagens da área a ser mapeada. Nessa fase, um dos principais atributos do levantamento por RPA é o tempo de exposição em campo, muitos dos levantamentos têm curtos períodos de duração, sendo a fase seguinte, de processamento de dados, a mais demorada.

Quanto ao tempo em campo, Droneeng (2018) realizou o levantamento no interior de São Paulo de uma área de 3,1 hectares, sobrevoando-a com drone por cerca de 15 minutos. Analogamente, Dalmolin (2018) coletou dados de uma área de 32 hectares em 15 minutos de operação. Ambos não precisaram fazer a substituição da bateria durante a coleta de imagens para superfícies relativamente extensas.

2.2.4.3 Processamento de dados

No processamento de dados, uma das etapas mais importantes é a aerotriangulação. Este procedimento fotogramétrico consiste na determinação dos pontos de controle homólogos e suas coordenadas a partir da correlação entre imagens (AGUIAR e MITISHITA, 2002). Ou seja, o método de aerotriangulação permite que um mesmo ponto seja identificado em diferentes imagens, de modo que seja feita uma relação entre elas. Como é representado na Figura 7. Para que este processo seja eficiente e gere ortomosaicos de alta qualidade é fundamental que haja uma alta sobreposição entre as fotografias, pois, assim, o algoritmo computacional será capaz de identificar mais pontos homólogos entre as fotos.

Figura 7 - Método de aerotriangulação



Fonte: o autor, 2019.

Além do processo de aerotriangulação, outra técnica utilizada na geração de produtos por levantamento aerofotogramétrico é a estereoscopia. Essa técnica fundamenta-se na observação de pelo menos duas imagens sobre diferentes ângulos, assim como é realizado pelos nossos olhos, a fim reconstruir o espaço em uma perspectiva tridimensional (TOMOYOSE, 2010).

Em aerofotogrametria, os modelos tridimensionais de superfície, formados inicialmente pelo processamento da nuvem de pontos, são baseados em pares de imagens estereoscópicas. Sua exatidão depende da localização de pontos similares nesses pares, que pode ser realizado de maneira automática ou manual, ponto a ponto (SILVEIRA *et al.*, 2008).

Na sobreposição de imagens, há ainda a influência do erro de paralaxe. Lopes (2019) afirma que o paralaxe é o deslocamento da posição de um ponto do terreno de levantamento em relação ao sistema de referência. Este erro é causado pela mudança do ponto de observação. Assim, à medida que a aeronave se desloca no plano de voo, ocorre o que é definido como paralaxe estereoscópica. Desse modo, o tratamento de dados a partir da evolução das técnicas de aerotriangulação, estereoscopia e georreferenciamento proporcionam a caracterização do terreno por meio do modelo digital de superfície (MDS), sendo, então, filtrado para a remoção dos objetos acima da superfície, a fim de obter o modelo digital de terreno (MDT) e as curvas de nível (COSTA, 2008).

Assim, considerando o processamento de dados pode-se verificar a média, o desvio padrão e a raiz do erro médio quadrático (RMS) do aerolevanteamento por RPA, através do relatório final de processamento. O desvio padrão expressa o quanto um conjunto de dados varia em relação à média, sendo uma medida da precisão dos dados levantados, enquanto a raiz do erro médio quadrático é um indicador de acurácia do produto final (LIMA, 2018).

2.2.4.4 Produtos Gerados na Aerofotogrametria

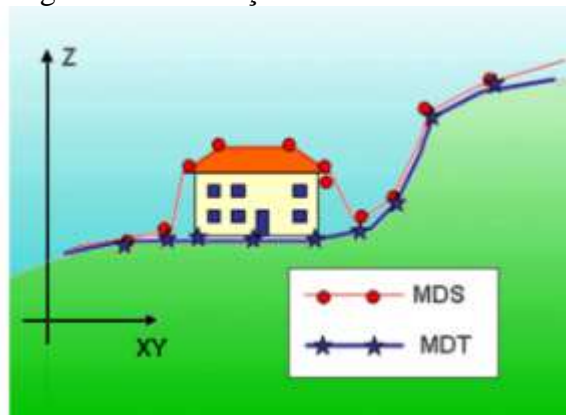
Os produtos gerados a partir da aerofotogrametria por RPA utilizam-se das ortofotos, que são o resultado final da transição cônica das fotografias para a representação cartográfica ortogonal. Para se ter a representação ortogonal, deve-se corrigir as distorções relativas à rotação da câmera por meio de técnicas como a ortorretificação. Assim, os programas de processamento usam as fotografias georreferenciadas para sobrepor as ortofotos, gerando entre elas linhas de corte que possibilita unir as imagens e transformá-las em uma só, o ortomosaico (LIMA, THOMAZ, SEVERO, 2010).

A partir das ortofotos é possível gerar os demais produtos do levantamento aerofotogramétrico como: a nuvem de pontos, o modelo tridimensional do terreno, o modelo digital de terreno (MDT), o modelo digital de superfície (MDS) e as curvas de nível. Em Aeronaves (2017) são definidos os produtos gerados em aerofotogrametria como: a nuvem de pontos, que é o conjunto de pontos georreferenciados criados através da utilização de métodos matemáticos de triangulação. Esses pontos são a base para o modelo 3D e para todas as medições realizadas; o Modelo Tridimensional de Terreno, que é a representação da área mapeada nas três dimensões (X, Y e Z) a partir da adição de uma textura na nuvem de pontos densificada.

Além desses, há também o Modelo Digital de Superfície (MDS), que é um conjunto de pontos com coordenadas e elevações conhecidas, que permite verificar os objetos presentes no terreno, sejam eles edificações, árvores, ou seja, objetos que não fazem parte do terreno; o Modelo Digital de Terreno (MDT), que é semelhante ao MDS, no entanto, deve representar as variações somente de solo, não importando os objetos presentes na área do levantamento. Com o processamento cada pixel da imagem estará associado a uma coordenada no eixo Z que permitirá modelar o terreno para criar as curvas de nível. A Figura 8 ilustra as diferenças entre o MDS e o MDT. As curvas de nível são traçados de linhas que representam pontos de mesma altitude no terreno. Essa representação gráfica permite que

sejam observadas as altitudes máximas, mínimas e intermediárias do terreno, inferindo sobre o seu relevo.

Figura 8 - Diferença entre o MDS e o MDT



Fonte: Tecnologia. 2019

2.3 Sistema GNSS e RTK

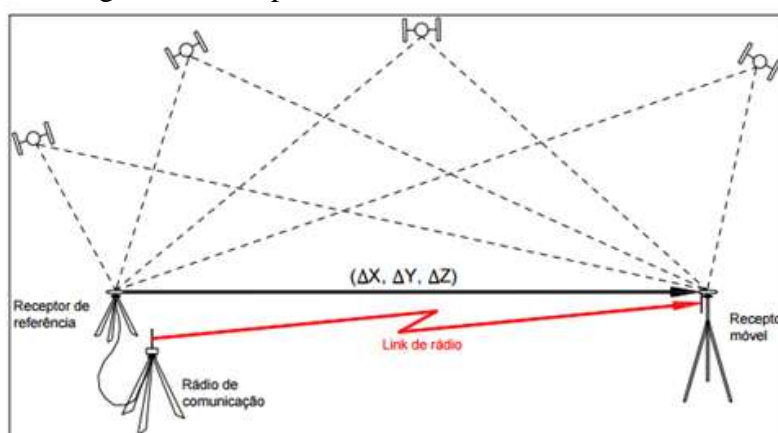
O Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), sigla para *Global Navigation Satellite System*, é o método de determinação da posição de um objeto por meio de suas coordenadas. Essa metodologia é uma das mais recentes para a determinação das coordenadas de um ponto no espaço. A utilização do sistema GNSS proporciona as coordenadas mais rapidamente, sem a necessidade de intervisibilidade de pontos, como a topografia.

Historicamente, os avanços de navegação por satélite se deram principalmente durante o período da Guerra Fria, com o lançamento do sistema GPS (*Global Positioning System*) pelos Estados Unidos, e o GLONASS (*Global Orbiting Navigation Satellite System*), pela União Soviética. Além desses mais conhecidos atualmente, o governo chinês dispõe do sistema de posicionamento Beidou. Assim, formou-se o que se pode denominar de uma constelação de satélites que compõe a tecnologia de posicionamento global (SANTOS, 2012).

Agostinho (2007) aponta as principais vantagens da utilização de receptores GNSS na determinação de coordenadas de vértices, sendo elas a flexibilidade de operação do equipamento, a precisão das coordenadas levantadas e o custo com a aquisição de materiais. Como é o caso dos receptores RTK (*Real-Time Kinematic*), que corrige em tempo real os pontos coletados pelo GNSS.

No método RTK são utilizados dois receptores. Um deles é o receptor estacionário, chamado de estação base a qual recebe os sinais codificados da constelação de satélites, permitindo que a base corrija constantemente os cálculos em relação ao ponto que está implantado, sendo que as coordenadas da base podem ser obtidas da Rede de Monitoramento Contínuo (RBMC) do IBGE ou implantada pelo método do Posicionamento Preciso (PP). Através dos dados da estação base é possível determinar as coordenadas de um ponto em campo com o uso de um segundo receptor (DINIZ, 2016). A Figura 9 representa o método de coleta de dados em tempo real por meio de receptor GNSS.

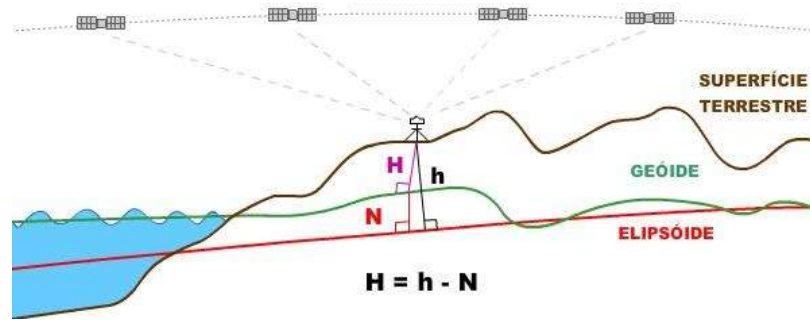
Figura 9 - Receptor GNSS e o uso do método RTK



Fonte: Geotrack. 2016

O posicionamento fornecido pelos receptores GNSS estão no Sistema de Coordenadas Retangulares ou Polares e são convertidos para o usuário no Sistema de Coordenadas especificados por este ao configurar o receptor, podendo ser um Sistema Geodésico ou Plano, como no caso do Sistema Universal Transversa de Mercator (UTM). Por outro lado, a altitude é calculada considerando o modelo do elipsóide, cujos parâmetros são definidos pelo Datum WGS84. Os valores reais de altitude, denominado de altitude ortométrica, devem ser referenciados ao modelo geoidal da terra. Assim, é necessário converter os dados de altitude elipsoidal (h), em altitude ortométrica (H), utilizando a altura geoidal (N), que é a diferença entre o elipsóide e o geóide, fornecida por um modelo de ondulação geoidal (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2019) (Figura 10).

Figura 10 - Demonstração da superfície terrestre



Fonte: IBGE, 2019

2.4 Legislação Cartográfica

Os produtos obtidos de um mapeamento ou levantamento de campo, seja por topografia convencional ou por RPA devem ser representados em plantas cartográficas que expressem as propriedades da área levantada, podendo exprimir seus principais objetos. No Brasil, o principal instrumento que trata das normas técnicas de cartografia é o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, estabelecido em Brasil (1984), segundo o Artigo 8º:

As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, seguindo o critério abaixo indicado: 1. Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Planimétrico - estabelecido. 2. 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.

Desse modo, o Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico relativo a 90% de probabilidade. Estes 90% correspondem a 1,6449 vezes o Erro-Padrão - $PEC = 1,6449 EP$. O Decreto trata ainda das cartas geradas por aerofotogrametria, segundo a sua acurácia, classificando-as em classe A, B e C, como na Tabela 4.

Tabela 4 - Classificação cartográfica

Carta	Planimetria		Altimetria	
	Tolerância	Erro padrão	Tolerância	Erro padrão
Classe A	0,5mm x Escala	0,3mm x Escala	1/2 equidistância	1/3 equidistância
Classe B	0,8mm x Escala	0,5mm x Escala	3/5 equidistância	2/5 equidistância
Classe C	1,0mm x Escala	0,6mm x Escala	3/4 equidistância	1/2 equidistância

Fonte: Brasil. 1984

Com os valores pré-estabelecidos pelo padrão de exatidão cartográfica e a escala da carta é possível calcular a tolerância planimétrica e altimétrica. Em levantamentos por RPA o relatório final do processamento apresenta os erros obtidos. Assim, com a tolerância indicada pela PEC e os erros ao final do relatório é possível indicar em que classe da PEC os produtos gerados pela aerofotogrametria estão inseridos. O Decreto de 1984, no entanto, é muitas vezes considerado ultrapassado devido à época de sua publicação e aos adventos tecnológicos atuais.

Santos *et al.* (2010) afirma que os avanços tecnológicos nos últimos anos permitiram significativas mudanças na cartografia. Os procedimentos de geração e tratamento de dados computacionais sofreram inúmeras transformações até se obter os resultados de mapas digitais existentes atualmente. Com todo avanço, o grau de precisão é obtido com padrões superiores aos limites de tolerância aceitáveis pelo PEC.

2.5 Estado da arte

São apresentados a seguir alguns trabalhos desenvolvidos nos últimos anos que tiveram como estudo a aplicabilidade de drones para mapeamento, suas aplicações em termos operacionais e regulamentações. Almeida *et al.*, (2016) discutem resultados de um aerolevanteamento realizado com um drone multirrotor em uma área de 16,3 hectares de interconexão rodoviária, mostrando que o uso dos produtos altimétricos obtidos com um RPA para o cálculo de volumes de terraplanagem é bastante promissor, visto que estes geram uma densa nuvem de pontos com valores de altitude. Os equipamentos utilizados mais atualmente apresentam grandes vantagens quanto ao tamanho, à sua autonomia e facilidade de operação.

Costa (2008) propôs-se verificar a aplicabilidade de produtos obtidos com aerolevanteamento através de câmeras não métricas para a elaboração de anteprojetos rodoviários. O autor disserta sobre o atual panorama da cartografia no Brasil e como esta é aplicada em anteprojetos de estradas, além de discutir como a fotogrametria influencia neste processo e na qualidade dos produtos gerados. Em seu projeto, foram utilizadas imagens de pequeno formato, levantamentos topográficos e dados planimétricos de GPS, todos estes processados em programas computacionais. Os resultados obtidos por Costa (2008) mostraram a viabilidade de aerolevanteamentos, seguindo o Decreto nº 89.817, quanto à exatidão e à precisão planimétrica e altimétrica; atingindo classe A na escala cartográfica de

1:2000. No entanto, o autor sugere que novos estudos sejam realizados para simplificar os métodos de obtenção de dados e o seu processamento. O autor apresenta ainda os produtos gerados ao final do processamento: as imagens ortorretificadas, os modelos digitais e o projeto geométrico da rodovia.

Ainda tratando do uso da ferramenta em projeto de estradas, Silva e Costa (2010) trazem à luz a enorme utilidade da fotointerpretação tomada por aerolevanteamento para fins de projetos, já que as imagens coletadas servem sumariamente para a tomada de decisões na fase projetiva, porém ainda apresenta restrições quanto à comparação entre aerofotogrametria e a topografia. O trabalho discute a importância da interpretação dessas imagens e analisa as normas nacionais e internacionais para os padrões de escala cartográfica. Finalmente, os autores afirmam que o uso mais recente das câmeras de pequeno formato são uma alternativa técnica e econômica em várias situações, seja da engenharia civil ou de áreas correlatas. Tendo os produtos gerados atingidos os limites estabelecidos pelo Padrão de Exatidão Cartográfico na escala 1:3.000.

Ferreira (2014) analisa em seu trabalho os produtos cartográficos obtidos por meio de uma câmera não métrica, transportada por um RPA, com os resultados obtidos com câmera de grande formato. O trabalho seguiu as etapas metodológicas de calibração da câmera; precisão dos modelos digitais de elevação gerados e estimativa da nuvem de pontos em cada levantamento. Ao fim, ele propôs estimar o número de pontos de apoio para aplicações futuras. O autor destacou que o uso de câmeras não métricas de pequeno formato é viável do ponto de vista posicional.

Luz (2015) buscou gerar ortofotos de maneira semiautomática a partir de imagens tomadas de um RPA, avaliando a exatidão dos resultados e sua aplicabilidade, com vista a atualização de bases cartográficas. Neste processo, o autor designa etapas do trabalho, a saber: estudo do plano de voo, sinalização de marcos, aquisição de imagens e reconstituição tridimensional do terreno fotografado. Concluindo que os veículos de baixo custo podem perfeitamente serem utilizados em mapeamentos temáticos e na atualização de bases cartográficas. Porém, sugere que ainda há muitas melhorias a serem feitas quanto a exatidão de parâmetros exteriores.

No que tange à geração de novos produtos, Miranda Neto (2016) afirmou em seu trabalho que o mercado de RPAs está em ascensão no Brasil devido a redução nos custos de operação destes novos equipamentos, dotados de câmera de pequeno formato, e sensores de coleta de informações espaciais. Dessa forma, o autor propôs a criação de um conjunto de

ferramentas e de um RPA aplicando-os no desenvolvimento da produção agrícola. Aqui exposto, este trabalho contribui para a compreensão do funcionamento dessas aeronaves e dos sensores nela embarcados.

Santos (2016), avaliou o modelo digital de terreno (MDT) gerado por RPA, classificando-o de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica em Brasil (1984). Para tanto, foram coletados dados por aerolevanteamento e por topografia, processados em *softwares Agisoft PhotoScan Professional e Topcon Tools*. O autor revela que houveram discrepâncias maiores que meio metro em valores de altitude, mas salienta que isto deve-se à limitação do sensor utilizado, sugerindo que a filtragem da nuvem de pontos seja feita manualmente antes da geração do modelo.

Rosalen *et al.* (2017) caracterizaram a altimetria de uma porção de terra no interior do estado de São Paulo, através de sensores multiespectrais embarcados em RPAS, objetivando verificar a sua aplicabilidade em estudos altimétricos em comparação à topografia convencional. A partir dos dados coletado *in loco*, foram confeccionadas plantas topográficas para a gleba de terras e feita a análise estatística das diferenças altimétricas do levantamento topográfico e do aerolevanteamento. Ao fim do trabalho, eles destacaram que o uso de sensores multiespectrais devem ser avaliado em função da qualidade que se almeja ter no levantamento, já que outros sensores podem fornecer precisões mais elevadas. Neste projeto, os levantamento topográfico apresentou um erro altimétrico de 1 cm se comparado a 16 cm do levantamento por RPA.

Oliveira e Jesus (2018) utilizaram-se do método estatístico de *t-student* como uma análise comparativa entre os dados coletados em campo para um levantamento feito por topografia convencional e por drone, avaliando a tendência de aproximação dos dados coletados aos valores reais. Em suas comparações, os autores valeram-se também de informações sobre o tempo de levantamento e os custos de aquisição de equipamentos em ambos os métodos. Sendo o tempo de coleta e processamento do aerolevanteamento de 16 horas e o da estação total de cerca de 5 horas, ambos para a mesma área de 5,71 hectares.

Além dos autores já citados, Guimarães e Rios (2017) analisaram a metodologia de regularização proposta pelas Agências Reguladoras para uma aeronave remotamente pilotada de pequeno porte. Em seus estudos traçaram comparativos entre a legislação nacional e a de outros países. O método propôs-se ainda requerer junto aos órgãos competentes (DECEA, ANATEL e ANAC), todo protocolo necessário à regulamentação. Concluindo, os autores afirmaram ser ainda necessário desburocratizar os procedimentos, como forma de incentivar

os usuários à legalização dos produtos, além de sugerir uma linearidade entre as agências reguladoras.

Os trabalhos desenvolvidos sobre RPAS mostram que os principais estudos discutem sobre a versatilidade de operações dos mais diversos modelos, em especial dos multirrotores, avaliando as principais características dos equipamentos e suas potenciais aplicações, seja na construção civil ou áreas afins. Além disso, os estudos abordam ainda a capacidade operacional desses veículos devido à redução de carga dos modelos, evidenciados com um avanço tecnológico

3 ESTUDO DE CASO

A pesquisa buscou sua validação em um levantamento por RPA, nomeado estudo de caso, realizado na Região Metropolitana de Fortaleza. Assim, são apresentados abaixo os materiais utilizados, além das etapas realizadas para a coleta e o processamento de dados, bem como a metodologia de apresentação dos resultados.

3.1 Materiais

Com o objetivo de avaliar o emprego de aerofotografias obtidas por RPAs na engenharia, esta pesquisa valeu-se de dados relativos ao imageamento de um voo realizado no município de Eusébio-CE, no Centro Integrado de Modelismo, pela empresa Geodata Engenharia Ltda, que permitiu a participação do autor e forneceu os dados para a realização deste estudo.

Para melhorar o posicionamento planimétrico e altimétrico do ortomosaico, coordenadas de alta precisão (pontos de controle), obtidas com receptor GNSS geodésico, foram inseridas durante o processamento das ortofotos. As coordenadas dos pontos de controle (5 pontos) e dos pontos de checagem (4 pontos), sendo pontos auxiliares utilizados para avaliar a acurácia planimétrica e altimétrica do ortomosaico, foram obtidas por meio do sistema de posicionamento global com *GNSS TRIMBLE R4 RTK*. O receptor *TRIMBLE R4 RTK* é um equipamento integrado às bases *L1* e *L2* com 72 canais de aproximação paralela.

As ortofotos foram coletadas com o drone *Parrot Anafi Work* (Figura 11), o qual possui 320 kg, dimensões de 6,9” x 9,4” x 2,5” e opera com câmera 4K (ou 21 MP), com orientação vertical de 180°, podendo operar 30 minutos sem substituição de baterias ou por uma hora e quarenta minutos com substituição de baterias. As características principais do *Parrot Anafi Work* estão descritas na Tabela 5.

Figura 11 - Drone Parrot Anafi Work



Fonte: Parrot, 2019.

Tabela 5 - Características do drone utilizado no levantamento

<i>Parrot Anafi Work</i> multirrotor		
Drone	Peso	320g
	Tempo máximo de voo	25min
	Velocidade horizontal máxima	55 km/h
	Posicionamento	GPS e GLONASS
	Câmera	Vertical
	Imagens	1/2,4"
Controlador	Peso	386g
	Sistema de transmissão	Wi-Fi
	Alcance de transmissão	4 Km

Fonte: Parrot, 2019. Adaptado.

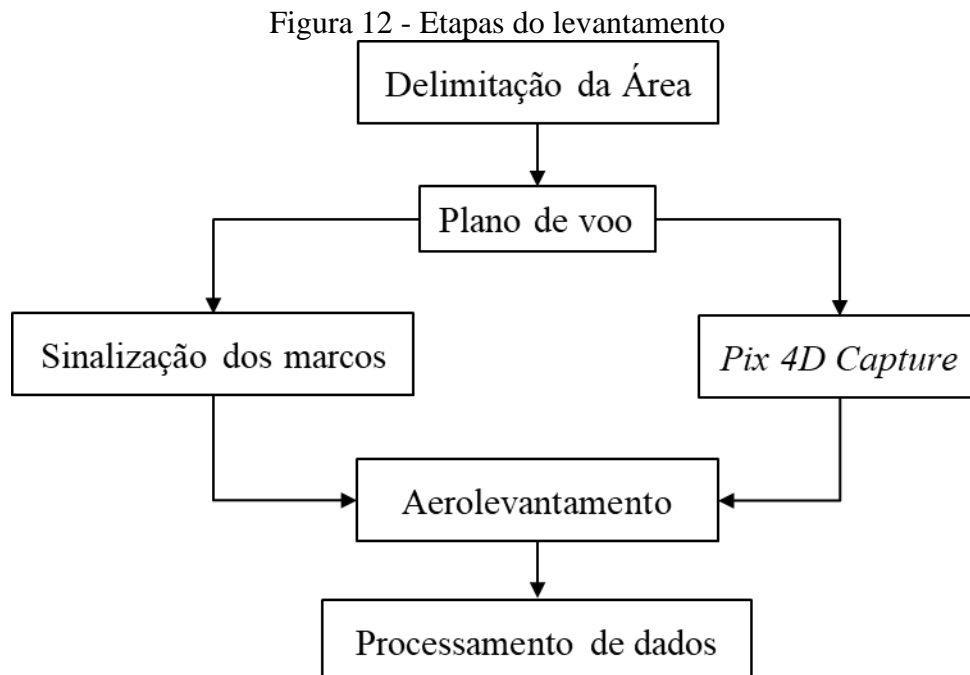
Além da RPA multirrotor, utilizou-se, conjuntamente o aplicativo *Pix4D Capture*, que pode ser instalado em celulares com sistema *Android* (sistema operacional baseado em *Linux* que opera em *smartphones*) ou *IOS* – sistema operacional de celulares *Iphone*, o qual controla remotamente as ações do equipamento de voo junto do controle remoto do drone; este programa auxilia no planejamento e execução do aerolevanteamento. Outro aplicativo utilizado foi o *Free Flight 6* para calibrar a RPA. O programa conta também com as opções de mapas carregados, galeria com fotos de levantamentos já realizados e a disponibilidade de armazenamento e carga do controle remoto. Ambos disponíveis no *Apple Store* e no *Play Store*. Para o processamento dos dados levantados foi utilizado um computador da plataforma *Windows 64*, *Core I7* e os softwares *Pix4D Mapper* e *Agisoft*, sendo que as etapas de processamento e marcação dos pontos são semelhantes entre ambos. Além desses, foram utilizados os softwares *QGis* e *Datageosis* para auxiliar na elaboração dos dados de terraplanagem.

3.2 Método

Quanto ao método utilizado para a etapa de aerofotogrametria com drone, foram seguidas as etapas de planejamento de voo, coleta de dados ou execução e processamento de dados, conforme listados nos subitens a seguir. Posteriormente, foram feitas as análises quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica, à qualidade dos produtos gerados, variando o número de pontos de controle durante o processamento, e as características de tempo e de custo para efetuar o levantamento.

3.2.1 Etapas do Levantamento

A coleta de campo foi realizada semelhante ao apresentado no capítulo anterior. O fluxograma apresentado na Figura 12 demonstra as etapas seguidas durante a coleta e o processamento de dados, seguido da metodologia para cada etapa.



Fonte: o autor

3.2.1.1 Delimitação da área

A área escolhida corresponde ao Centro Integrado de Modelismo, por ser uma área própria para este fim, não sendo necessários procedimentos para licença de aerolevanteamento, haja vista que a área é conveniente para voo de pequenos modelos. A região tem seu perímetro cercado pela Lagoa da Precabura, ao norte e pela Estrada do Fio, que dá acesso à rua não pavimentada do local, ao sul e oeste. Ao leste a área tem confrontações com algumas edificações de pequenas altitudes. A área total do levantamento é de 14.000 m², de pouca declividade, possui vegetação rasteira e árvores. A área delimitada pode ser observada na Figura 13.

Figura 13 – Localização da área de estudo

Área do levantamento - Centro Integrado de Modelismo (Eusébio-Ce)



Fonte: autor

3.2.1.2 Plano de voo

O plano de voo está relacionado às intempéries que influenciam no levantamento: clima, tempo, cobertura de nuvens e outros. A qualidade das imagens está diretamente relacionada ao horário do levantamento; assim, é indicado que sejam feitos levantamentos no momento de “sol a pino”, que é quando o sol está no zênite. Com o plano de voo realizado no

Pix4D foram dadas as atribuições do aerolevanteamento: as porcentagens de sobreposição, altitude de voo do drone e o ângulo da câmara (Tabela 6).

Tabela 6 - Propriedades do levantamento

Característica	Dados
Sobreposição longitudinal	75%
Sobreposição lateral	80%
Altura de Voo	120m
Ângulo da câmara	90°

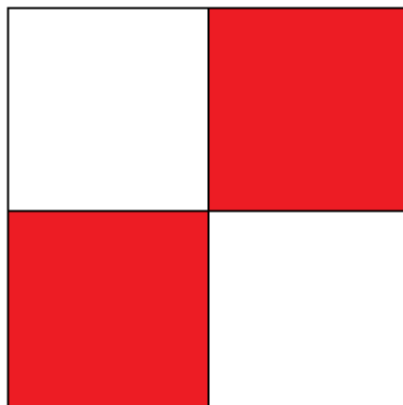
Fonte: autor

As sobreposições laterais e longitudinais garantiram o que sugere Ferreira *et al* (2013), de valores superiores a 60%. Quanto à altura de voo, estabeleceu-se o máximo de até 120 metros com a câmara na direção do solo.

3.2.1.3 Sinalização dos marcos

Para aumentar a precisão da coleta de dados, anterior ao levantamento é feita a sinalização dos marcos no solo, que se refere aos pontos de checagem e de apoio, com coordenadas coletadas com receptor RTK. A sinalização foi feita com placas de plástico, pintadas em vermelho e branco para destacar os pontos nas fotografias, a fim de realizar o georreferenciamento das fotos (Figura 14).

Figura 14 - Sinalização dos pontos



Fonte: o autor

Os dados levantados inicialmente com RTK forneceram ao projeto dados quanto às coordenadas UTM em Norte (Y), Este (X) e altitude (Z) do terreno. Foram coletados nove pontos de apoio de coordenadas, a saber: pontos de cheque e pontos de controle.

Do que se trata da elevação, os valores indicam a elevação elipsoidal, com a transformação realizada com auxílio do programa *MapGeo*, foi possível determinar as altitudes ortométricas dos pontos de controle e checagem. Os pontos de controle são utilizados no georreferenciamento e processamentos das ortofotos, enquanto os pontos de checagem são utilizados para o cálculo do erro médio quadrático (RMS) planimétrico e altimétrico. Os pontos obtidos servem de base para determinar e aumentar a acurácia do aerolevanteamento, expostos na Tabela 7.

Tabela 7 – Pontos de controle e checagem

Nomeação	Coordenada (m)	Coordenada (m)	Elevação elipsoidal (m)	Elevação geoidal (m)	Altitude ortométrica (m)	Tipo de ponto
CH-01	559.910,45	9.574.967,77	-4,089	-8,82	4,731	Checagem
CH-02	559.846,94	9.574.947,14	-4,126	-8,82	4,694	Checagem
CH-03	559.892,88	9.574.909,05	-4,141	-8,82	4,679	Checagem
CH-04	559.976,03	9.574.918,48	-3,674	-8,82	5,146	Checagem
GCP-01	559.786,32	9.574.977,71	-6,233	-8,81	2,577	Controle
GCP-02	559.783,01	9.574.939,29	-6,052	-8,82	2,768	Controle
GCP-03	559.905,54	9.574.933,01	-3,922	-8,82	4,898	Controle
GCP-04	560.023,33	9.574.939,71	-5,714	-8,82	3,106	Controle
GCP-05	560.010,43	9.574.875,04	-5,497	-8,82	3,323	Controle

Fonte: autor

A Figura 15 representa a localização dos pontos de controle e checagem dos dados. Os pontos de cheque são apresentados em verde com marcação marrom e os pontos de controle em vermelho, com título dos pontos como mostrado na Tabela 7.

Figura 15 - Localização dos pontos



Fonte: *Google Earth*, 2019. Adaptado

3.2.1.4 Plano de voo pelo *Pix4D Capture*

O *Pix4DCapture* é um aplicativo que auxilia no levantamento. Sua função é levar ao operador do drone, a facilidade de planejar e executar o voo a partir de seu aparelho celular ou *tablet*, conectado ao controle remoto, que por sua vez estabelece conexão com o RPA. Pelo aplicativo, o usuário tem a opção de guardar todos os seus projetos, além de, durante o planejamento, escolher a forma como a aeronave irá sobrevoar a área, a superposição lateral e longitudinal. Para a utilização do *Pix4D* seguem-se as seguintes etapas:

- a) Conectar o celular ao controle;
- b) Ligar o drone;
- c) Executar o aplicativo;
- d) Fazer *login* na conta.

3.2.1.5 Aerolevantamento

A coleta de fotografias é realizada no instante em que o aparelho sobrevoa a área. Nesta etapa o drone opera de acordo com as condições pré-estabelecidas na etapa anterior: altura, sobreposição e sentido do caminhamento a percorrer. O voo foi realizado com drone de asa rotativa, com pouso e decolagem na vertical. Como a altura de voo não ultrapassou 400 pés (122 metros), toda operação foi realizada dentro da linha de visada visual, classificada como operação EVLOS.

O RPA utilizado pertence à Classe 3, peso máximo de decolagem até 25kg. Ao todo, foram coletadas 65 fotografias, com resolução de solo GSD de 3.88 cm, em um intervalo de 7min24s. A área levantada corresponde a 14,86 hectares. Na fase de processamento é possível observar a ordem de caminhamento do drone, sendo que a circunferência maior indica o local onde foi feita a primeira imagem (Figura 16).

Figura 16 - Sequência de fotografias tiradas pela RPA



Fonte: autor

3.2.1.6 Processamento de dados

Dentre os programas computacionais que trabalham com processamento de fotografias obtidas com aeronaves pilotadas e RPAs, existem o *Agisoft* e o *Pix4D Mapper*, que tratam os dados de modo a fornecer ao usuário informações como: nuvem de pontos, erro de localização da câmera, ortomosaico. Ambos os programas possibilitam escolher a qualidade do tratamento

das imagens, sendo que a qualidade média mantém a resolução da imagem, a baixa qualidade degrada as imagens em 4 vezes e a muito baixa em 16 vezes. A qualidade alta e muito alta aumenta, respectivamente, a resolução das imagens em 4 e 16 vezes, o que possibilita que o algoritmo encontre uma maior quantidade de pontos homólogos entre as imagens.

Inicialmente, o objetivo era testar como a qualidade dos ortomosaicos variam conforme o nível de tratamento, mas nenhum dos computadores disponíveis para esta pesquisa conseguiu realizar o tratamento nas opções alta e muito alta. Assim, todo o processamento foi realizado utilizando o tratamento médio. As principais etapas do processamento estão descritas abaixo:

- a) Importação dos marcos;
- b) Definição da qualidade do tratamento de imagens e da precisão (muito baixa, baixo, média, alta e muito alta);
- c) Referência manual do ponto de controle à imagem (georreferenciamento);
- d) Classificação dos pontos;
- e) Geração do modelo digital de superfície;
- f) Relatório.

3.2.2 Sensibilidade dos Pontos de Controle e Imagens

Nessa etapa, foram realizados cinco processamentos distintos utilizando o tratamento médio, aumentando sucessivamente o número de pontos de controle em cada processamento. Ao final, o relatório do *software* forneceu o número de fotografias em que é possível visualizar cada ponto, a média dos erros, o desvio padrão e o erro médio quadrático. Com isso, foram plotados os gráficos de erro médio quadrático *versus* número de pontos e erro médio quadrático *versus* número de pontos *versus* imagens, para avaliar a interferência do número de pontos e da sobreposição de imagens na acurácia do levantamento.

3.2.3 Análise pela Legislação Cartográfica

A qualidade dos resultados é observada inicialmente pelo Padrão de Exatidão Cartográfica, estabelecendo a que classe de Brasil (1984) o levantamento realizado por RPAS pode pertencer, como um indicador estatístico do produto cartográfico a partir do cálculo da

escala da carta e do tamanho do *pixel* da imagem. Além disso, a análise foi realizada avaliando a raiz do erro médio quadrático do relatório final, fornecido pelo *software* em cada processamento.

Para determinar em qual classe da PEC insere-se os produtos do aerolevante realizado, primeiramente calcula-se a escala da foto. Para isso, é necessário definir o tamanho do *pixel*, o GSD e a altura do voo. O tamanho do *pixel* é calculado a partir da equação 1, sendo que os cálculos são efetuados para as dimensões x, y. Define-se então o tamanho do *pixel* como sendo o maior valor dentre os dois resultados finais. A partir do tamanho do *pixel* e do GSD obtido no relatório final de processamento das imagens é possível determinar o denominador de escala do ortomosaico como na equação 2. A partir da escala, verifica-se na norma os erros e tolerâncias das classes A, B e C.

$$Tamanho\ do\ pixel_{(x,y)} = \frac{sensor\ da\ câmara_{(x,y)}}{imagem_{(x,y)}} \quad (1)$$

$$Denominador\ de\ escala = \frac{Tamanho\ do\ pixel}{GSD} \quad (2)$$

3.2.4 Percepção de tempo e custo de levantamento

Alguns fatores são delimitadores para estabelecer, ou não, o êxito realizado por aerofotogrametria por RPAS, dentre eles: custo e tempo. No que remete ao tempo de serviço, este pode ser entendido como o período que se leva desde a coleta de dados em campo até o seu processamento e geração do relatório final.

Desse modo, a percepção acerca do tempo de levantamento diz respeito ao somatório do tempo todas as etapas, um indicador que revela a compreensão da duração do levantamento, é expresso pela equação 3:

$$T_s = \frac{coleta\ de\ dados + processamento\ de\ dados}{área\ coletada} \quad (3)$$

Além deste, a aquisição de materiais e a licença de programas computacionais incorre diretamente sobre as despesas de qualquer natureza de levantamento, seja topográfico ou por

RPA. Os materiais adotados em ambos os casos são bastante onerosos, devido a tecnologia embarcada nos equipamentos. Sobre os *softwares* utilizados, esses podem ser gratuitos ou não.

A análise de custos foi feita tendo como base duas premissas:

- a) A equipe de trabalho é a mesma nos dois levantamentos;
- b) A máquina de escritório utilizada é a mesma nos dois casos.

Portanto, esses fatores não entrarão inicialmente no indicativo de percepção de custos, definido como apresenta a equação 4:

$$C_s = \text{Aquisição de equipamentos} + \text{Aquisição de softwares} \quad (4)$$

3.2.5 Terraplanagem

Obras de terraplanagem podem ser aplicadas em várias áreas da construção civil, a fim de aplanar o terreno que receberá futuras construções. Nessa etapa deve-se avaliar como os produtos aerofotogramétricos obtidos por RPA podem auxiliar em projetos de terraplanagem. Tendo em vista que a área de estudo já possui uma pista de pouso e decolagem de pequenas aeronaves, o projeto visou ampliar os limites da pista, estabelecendo as seções de corte e aterro de material.

Para isso, utilizou-se do *software QGis* para determinar no ortomosaico gerado durante o processamento as coordenadas dos limites de ampliação da pista. Feito isso, os dados coletados em campo foram exportados para o *software Datageosis*, nele gerou-se a caderneta de pontos, a partir disso foi possível realizar o desenho da pista, a malha triangular da seção da pista e as seções de corte e aterro de material.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir estão divididos em cinco itens. O primeiro diz respeito à nuvem de pontos e ao erro de calibração da câmera, além dos produtos gerados, o ortomosaico e os modelos digitais. O segundo item refere-se à sensibilidade do número de pontos de controle para cada eixo de coordenadas, em relação ao erro médio quadrático e o número de fotografias tomadas do solo.

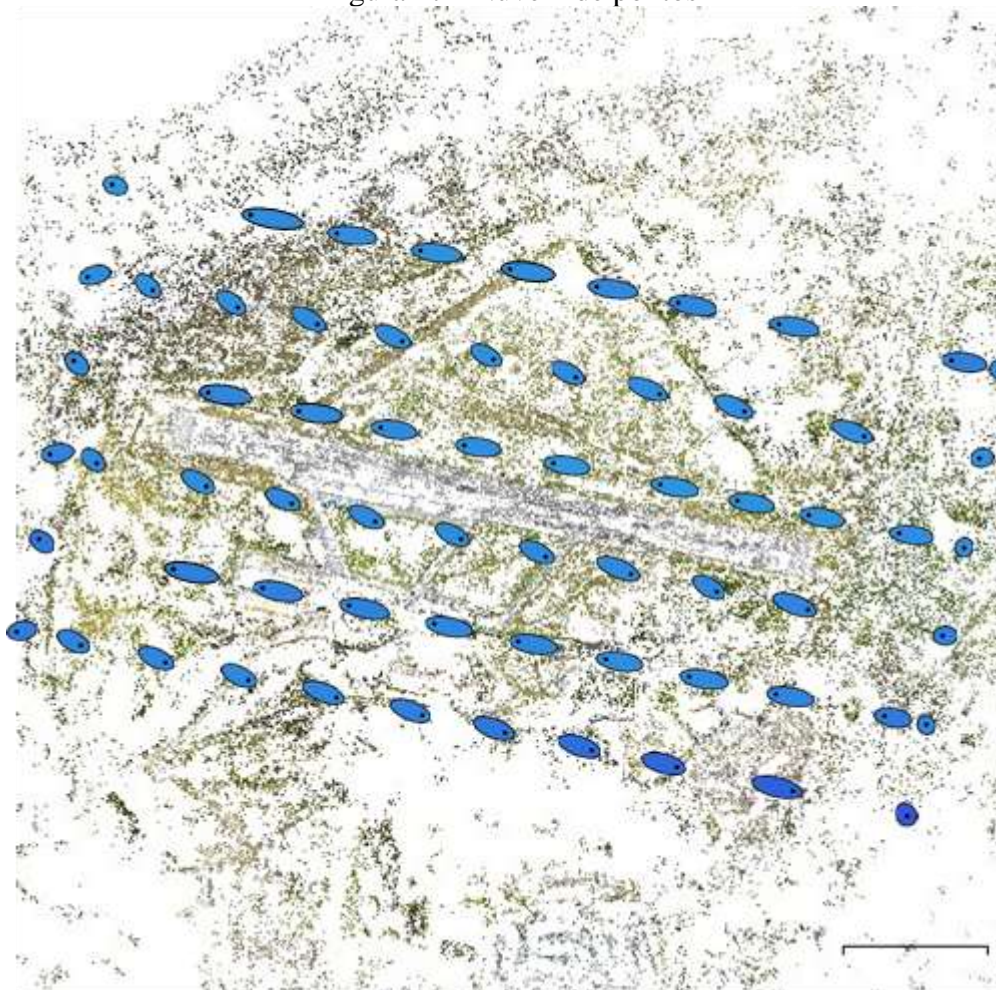
Mais adiante, o terceiro tópico trata da legislação cartográfica brasileira, a PEC, indicando os resultados e em qual classe este levantamento está inserido. O quarto item trata da possibilidade de um projeto de terraplanagem, mostrando como o aerolevanteamento pode auxiliar em termos do cálculo do volume de corte e aterro. Por fim, o quinto item deste capítulo trata dos indicadores propostos para avaliar o tempo e o custo de um levantamento por RPA, comparando este com um levantamento topográfico convencional.

4.1 Processamento de dados

Durante o levantamento, foi possível observar as condições climáticas do local, sem expectativa de chuvas e com poucas nuvens no céu; o levantamento foi realizado ao meio dia, momento em que há menos sombras, sejam das árvores ou das edificações. As informações foram processadas utilizando as técnicas de aerotriangulação, que geraram uma nuvem com 110.775 pontos de amarração e 386.926 projeções, dados no relatório em apêndice. Isso faz com que o processo se torne mais longo devido à quantidade de informações processadas.

A Figura 17 mostra a nuvem de pontos do processamento e os pontos circulares de cor preta, os quais representam a localização da câmera no momento em que as imagens foram tomadas e a estimativa do erro de localização em X e Y definido pela forma da elipse. Para X, o erro estimado foi de 4,093m, e para Y o erro foi de 1,164m, assim o erro planimétrico de localização da câmera em 4,255m. É possível observar na figura que o erro de localização da câmera é mais expressivo nas extremidades do caminhamento do levantamento.

Figura 17 - Nuvem de pontos



Fonte: autor

Da nuvem de pontos foi possível gerar o ortomosaico partindo do método de aerotriangulação. Na Figura 18 é possível observar a quantidade de detalhes gerados durante o processamento; deve-se destacar que a imagens tomadas do solo possuem coordenadas conhecidas, o que leva a geração do mosaico georreferenciado. Por gerar uma imagem georreferenciada e com alto grau de detalhes, o ortomosaico gerado no aerolevantamento com RPA revela informações importantes sobre a área mapeada, tais como: áreas de cursos d'água, áreas de vegetação nativa ou desmatada e edificações.

Todas essas informações acopladas em um só produto digital mostra a grande versatilidade da RPA nas diversas áreas. Em engenharia, por exemplo, a identificação de parcelas homogêneas da superfície auxilia projetistas na classificação do uso e cobertura da

terra, propriedades visuais do solo, além da identificação de materiais que venham a ser escavados ou reaterados.

Figura 18 - Ortomosaico

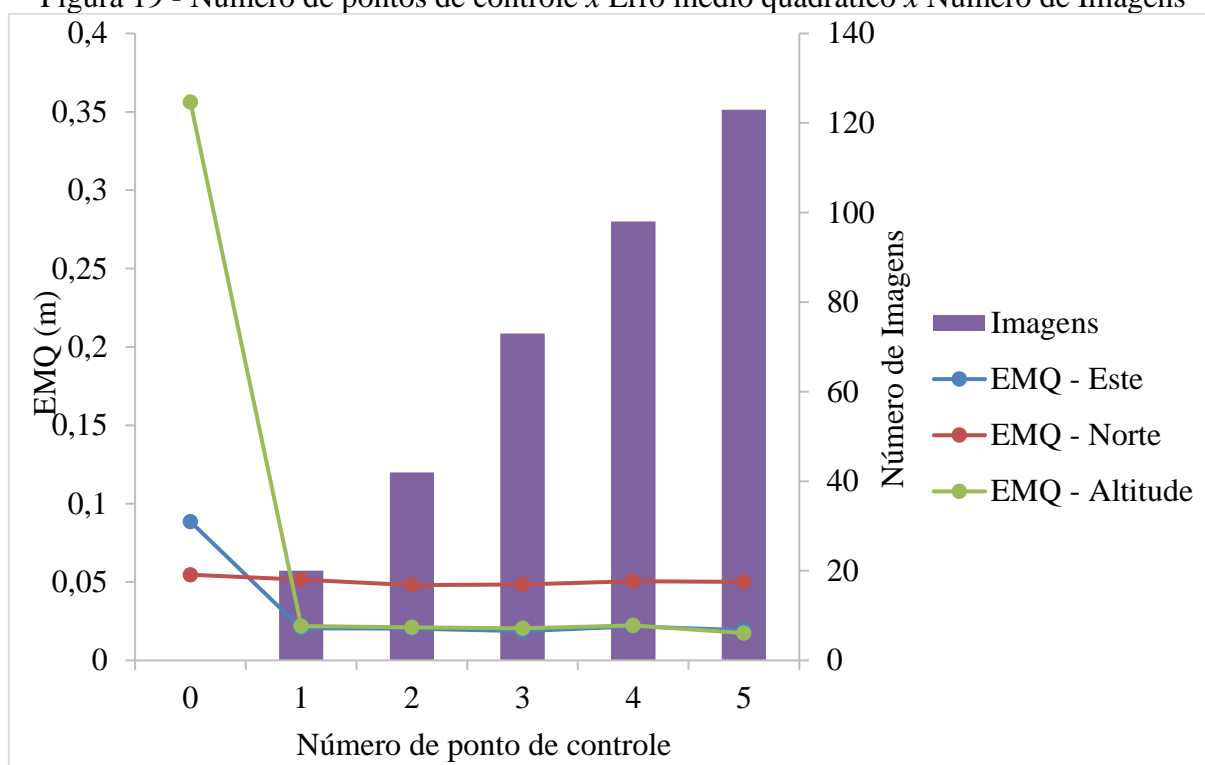


Fonte: autor

4.2 Análise de Sensibilidade dos Pontos de Controle

Para analisar a necessidade do número de pontos de controle processaram-se os dados aumentando o número de pontos de apoio de maneira consecutiva, a fim de avaliar a interferência da quantidade de pontos na precisão do levantamento. Essa avaliação foi feita calculando a média, o desvio padrão e o erro médio quadrático da diferença entre as estimativas de coordenadas do drone e do levantamento *RTK* (Figura 19).

Figura 19 - Número de pontos de controle x Erro médio quadrático x Número de Imagens



Fonte: autor

A Figura 19 mostra que o erro médio quadrático ao longo dos processamentos permanece em decaimento até o terceiro ponto. Portanto, o levantamento para este caso, se tratando das coordenadas Norte, apresenta bons resultados se processados somente com três pontos de controle, não havendo a necessidade de mais pontos. No entanto, é possível observar que o erro médio quadrático aumentou nos pontos de controle entre três e quatro. Ademais, observa-se que o aumento no erro médio quadrático é bastante singular para as coordenadas em Este, fazendo com que o gráfico se aproxime de uma reta.

Semelhante ao que ocorre para as coordenadas Norte, o erro médio quadrático para a altitude, apresenta um decaimento considerável já com um ponto de controle, após isso vê-se que o EMQ é linear até o ponto 3 e portanto não seriam necessários todos os pontos de controle para ter uma boa a acurácia do aerolevanteamento por RPA, no que diz respeito à altitude do terreno. Além disso, é possível observar que o erro para Este é cerca de três vezes maior que o erro para os outros dois eixos. No entanto, o erro médio quadrático apresentou um aumento no quarto ponto de controle, com isso convém analisar a influência do número de imagens utilizadas para marcação em cada ponto e se estas possivelmente influenciam no erro.

Como apresentado, o erro médio quadrático aumentou com quatro pontos de controle, quantidade em que a taxa de variação do número de fotografias diminuiu. Logo, vê-se que o erro médio quadrático, além de estar relacionado ao número de pontos de controle, está relacionado também à quantidade de fotografias a qual é possível visualizar um ponto de controle qualquer. Como o número de fotografias em que é possível identificar um ponto de coordenadas conhecidas depende da sobreposição entre as fotos, a precisão do levantamento é proporcional também a quanto uma imagem que se sobrepõe, e a quantidade de pontos homólogos entre elas.

4.3 Legislação Cartográfica

A legislação cartográfica brasileira é regida por meio do Padrão de Exatidão Cartográfica, que divide os produtos cartográficos nas classes A, B e C. Para estabelecer a classe do levantamento, tendo como base a Tabela 4 - Classificação cartográfica, é necessário calcular a escala através do GSD, informado ao final do processamento, e as definições do foco da câmera e das imagens. Sendo:

- i) $GSD = 3,88 \text{ cm}$
- ii) Dimensões do sensor da câmera (mm) = $5,985 \times 4,498$
- iii) Dimensões da imagem (pixel) = 5344×4016

Nesse caso, o tamanho do *pixel* foi definido como o da dimensão Y. Com esses dados, a partir das equações (1) e (2) estabeleceu-se a escala cartográfica para o levantamento, que foi de 1:3.500. Para esse valor de escala, a PEC permite as tolerâncias planimétricas conforme a Tabela 8.

Carta	Planimetria (m)	
	Tolerância	Erro padrão
Classe A	1,75	1,05
Classe B	2,80	1,75
Classe C	3,50	2,10

Fonte: autor

O erro planimétrico definido para o processamento com cinco pontos de controle foi de 0,035m. Logo, o produto final gerado é considerado classe A segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica, da legislação brasileira, definida em Brasil (1984).

No que tange aos limites toleráveis para altimetria, de acordo com a escala a equidistância entre as curvas de nível deve ser de 1,5m. Analogamente ao que foi feito para a planimetria, na altimetria serão utilizados os dados, para calcular os valores toleráveis para a escala de 1:3500 do produto cartográfico gerado, os resultados são expressos na Tabela 9.

Tabela 9 - Tolerância altimétrica

Carta	Altimetria (m)	
	Tolerância	Erro padrão
Classe A	0,75	0,50
Classe B	0,90	0,60
Classe C	1,125	0,75

Fonte: autor

O erro em relação à altitude para o processamento com os cinco pontos de controle foi de 0,0174m, muito menor do que a tolerância mínima permitida pela Classe A. Dessa forma, o produto cartográfico para a altitude também pode ser considerado classe A. Tempo e Custo de Levantamento

O tempo e o custo para esse levantamento consideraram-se, respectivamente, a coleta de dados e o processamento, e a aquisição de equipamentos. Assim, esse tópico se divide em analisar o tempo total de um serviço aerofotogramétrico por RPA, e à compra de equipamentos, sejam instrumentos ou *softwares*.

4.4 Tempo de serviço

O tempo de operação do levantamento por RPA inclui o tempo utilizado em campo e a duração do processamento de dados. Pode-se afirmar que no aerolevanteamento ocorre o inverso do levantamento feito por topografia convencional: aqui a coleta de campo é mais rápida, não excedendo 30 minutos para áreas de até 32 hectares; enquanto a fase de processamento pode demorar vários dias dependendo das configurações do computador utilizado. Isso ocorre devido à automatização do levantamento por RPA, pois o levantamento por topografia convencional depende também da experiência dos operadores.

Quanto ao processamento, em outros estudos, Oliveira e Jesus (2018) executaram o processamento de uma área de 5,71 hectares em um computador Intel Core i5 com 4GB de memória RAM, o tempo total despendido na execução do projeto foi de 15h13min, sendo que o processamento de dados consumiu 13h30min do tempo total (89% do tempo total). Enquanto que o processamento do aerolevante realizado para esta pesquisa, no Centro Integrado de Modelismo, levou 4 horas, em um computador Intel Core i7 e 16 GB de memória RAM. Vale ressaltar, que a etapa de processamento está diretamente ligada às configurações do computador utilizado, haja vista a quantidade de pontos processados.

Por sua vez, o tempo de operação do receptor RTK depende da proximidade de uma base de controle aos pontos que se desejam implantar. Se houver uma base próxima, a coleta de coordenadas de um ponto leva de 2min a 3min. Ou pode ser implantada com no mínimo duas horas de rastreamento do receptor GNSS, caso não haja. O mesmo tempo é válido para pontos de controle e checagem. Como na área do levantamento já existe uma base próxima, a coleta com receptor GNSS não excedeu 3 minutos para cada um dos pontos, sendo levantados 9 pontos, como mostra a Tabela 10.

Tabela 10 - Duração das Etapas do Levantamento

Fase	Duração
Coleta dos pontos de controle	3min
Coleta de dados em campo	7min24s
Processamento de dados	4h

Fonte: autor

Assim como expresso na equação, o indicador de tempo será dado como o somatório das três etapas do levantamento com RPA dividido pela área levantada. Como segue abaixo:

$$T_s = \frac{(3 \times 9) + 7,4 + 240}{14,86} = 18,46 \frac{\text{min}}{\text{ha}} = 0,30 \text{ h/ha}$$

Em valores encontrados na literatura, observou-se que o tempo utilizado em topografia é bastante superior ao de aerofotogrametria por RPA. Os trabalhos em topografia apresentam esses dados com o índice variando entre 3,5h/ha a 13,56h/ha. A variação desse índice para

topografia se dá pelo fato de que o tempo em campo depende sumariamente da experiência dos operadores, como tratado anteriormente.

4.5 Custo de serviço

O custo de operação corresponde aos investimentos realizados na aquisição de equipamentos necessários a todas as fases, desde a coleta até o processamento de dados. Portanto, podem ser incluídos o custo de aquisição de receptor RTK, aquisição da RPA e aquisição de computador para o processamento de dados e a compra da licença de *softwares*, vale ressaltar que as configurações do gabinete são indispensáveis para o processamento. Computadores mais antigos, com pouca memória não são capazes de elaborar os produtos finais. Assim, o custo de serviços pode ser expresso com base na Tabela 11.

Tabela 11 - Aquisição de materiais

Aquisição	Valor (R\$)
Receptor GNSS	49.500,00
Drone	10.699,00
Computador	3.299,00
Softwares	21.000,00
Total	84.498,00

Fonte: autor

Destaca-se, porém que os mesmos materiais utilizados no levantamento aerofotogramétrico por RPA podem ser usados para levantamentos de áreas maiores. Desse modo, não é significativo estabelecer uma relação entre o custo e a área levantada. Porém, em topografia, haverá um limite em que não será mais possível executar o levantamento em um terreno de grandes dimensões com um só equipamento topográfico, isso implicará em aquisição de novos equipamentos, fazendo com que os custos dobrem.

Além disso, é importante ressaltar que atualmente muitos *softwares* de geoprocessamento podem ser baixados sem a necessidade de compra. Esse é um fator importante, já que é um dos itens que mais encarecem a aquisição, na ordem de 25%. Por outro lado, os programas gratuitos estão disponíveis muitas vezes somente na versão demonstrativa ou estudantil, limitando o uso certas ferramentas, por esse motivo considerou-se na pesquisa as despesas com a aquisição de licenças.

Vale ressaltar que a análise de custos se deteve a estipular a compra de materiais necessários para o aerolevantamento com RPA. Essa mesma investigação deve ser feita idealizando o aluguel de materiais para a quantidade de dias necessários e ainda compará-la com a topografia convencional.

4.6 Ampliação da Pista de Pouso e Decolagem

A terraplanagem foi realizada baseando-se numa possível ampliação da pista de pouso e decolagem. Para isso, utilizaram-se os pontos levantados em campo para gerar o modelo do terreno e o ortomosaico para estabelecer os limites de ampliação da pista. A cota do plano de corte e aterro foi de 4,69m em relação ao nível médio, que é o greide da pista. Essa etapa foi desenvolvida com o auxílio do *software* Datageosis. A Figura 20 mostra os pontos de ampliação da pista, a extensão para ampliação considerada foi de 10m.

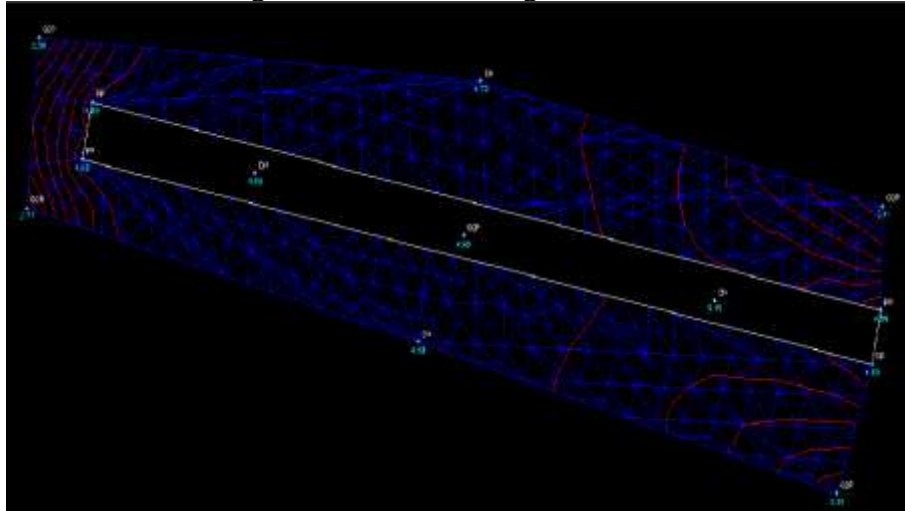
Figura 20 - Área de ampliação da PPD



Fonte: autor

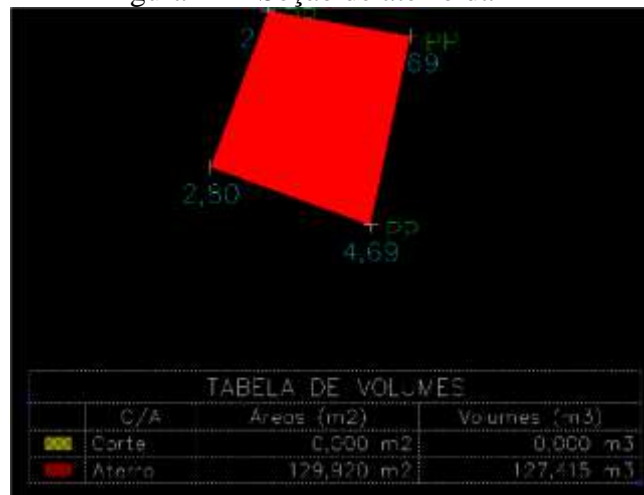
A Figura 21 mostra a malha triangular de uma seção do levantamento, a que corresponde à pista de pouso e decolagem (PPD). Na sequência, a Figura 22, de uma possível área de expansão e os seus respectivos volumes de corte e aterro gerados pelo programa.

Figura 21 - Malha triangular da PPD



Fonte: autor

Figura 22 – Seção de aterro da PPD



Fonte: autor

Como se esperava, a região apresentou somente volume de aterro de 127,42m³, pois o terreno natural tem altitude de 2,80m, que é inferior ao greide da pista de 4,69m. Assim, essa e outras obras de engenharia poderiam ser executadas no local, tendo como base o levantamento aerofotogramétrico, que coleta dados posicionais e de altitude próximos ao da topografia convencional.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por fim, neste capítulo, são citadas as principais conclusões feitas por meio dessa pesquisa; comentários acerca do levantamento por RPA, da norma vigente para cartografia e as ponderações sobre tempo, custo e produtos gerados. Além das recomendações para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

A partir desta pesquisa desenvolvida é possível inferir sobre a qualidade dos produtos cartográficos gerados que se encontram dentro das tolerâncias estabelecidas pela legislação brasileira. No entanto, deve-se atentar que o Padrão de Exatidão Cartográfica publicado em 1984, é ultrapassado e seus limites toleráveis são bastante superiores ao que é possível encontrar utilizando a cartografia digital.

Quando se analisa os pontos de controle e a sobreposição de imagens, é nítido que a partir do terceiro ponto, embora haja um aumento e sucessivamente uma redução da raiz do erro médio quadrático, este erro é praticamente inalterado, não sendo muito significativo. Como essa é uma das etapas que encarecem o levantamento aerofotogramétrico por RPA, novos estudos devem ser realizados em busca de estimar a quantidade ótima de pontos de coordenadas conhecidas para que os erros posicionais sejam mínimos. Diante disso, é possível atestar a confiabilidade posicional dos detalhes levantados, permitindo que projetos de engenharia, a depender de sua magnitude, sejam planejados com base em aerolevramento por RPA. No entanto, o tratamento de dados ainda necessita de computadores com *softwares* mais potentes. A depender das configurações internas do gabinete, trabalhos com RPA podem tornar-se inexecutáveis devido à quantidade de informações coletadas.

Ponderando as estimativas de tempo e custo, o levantamento por RPA apresenta vantagens quando se destaca a produtividade dos equipamentos, já que é capaz de varrer áreas maiores em menos tempo quando comparadas à topografia convencional. Estima-se que para a área de estudo, se levantada por topografia convencional, o levantamento necessitaria de no mínimo 15 dias. Além disso, os custos com aquisição de materiais são muitas vezes inferiores à aquisição de equipamentos para métodos tradicionais. É fato que a topografia convencional

ainda apresenta vantagens posicionais superiores, mas com nível de detalhamento menor do terreno.

Obviamente, cada um dos métodos tratados na pesquisa apresenta suas vantagens e desvantagens, sendo a escolha de sua aplicação de responsabilidade da equipe de engenharia, a depender da quantidade de detalhes e da precisão que se almeja no levantamento. Vale ressaltar que o desenvolvimento tecnológico permitiu uma abordagem mais ampla dos métodos topográficos, seja ele convencional ou por RPA. Diante disso, normas ou decretos devem ser revisados, a fim de se adequarem aos avanços tecnológicos, podendo se tornar mais rigorosos do que são atualmente.

5.2 Recomendações

Como sugestões para trabalhos futuros, podem ser abordadas:

- a) Rever o Padrão de Exatidão Cartográfico e atualizá-lo conforme as necessidades e os equipamentos disponíveis no mercado;
- b) Aprofundar os estudos sobre a quantidade de pontos de controle necessários a depender da área de levantamento e da precisão requerida;
- c) Normalizar o levantamento realizado por RPA de pequeno formato.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. NBR 13133: **execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 1994.

AÉREO, Departamento de Controle do Espaço. **Tráfego aéreo: aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**. 2018. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4944>>. Acesso em: 10 out. 2019.

AERONAVES, Horus. **Guia prático de operação e aplicação dos drones no mapeamento aéreo**. Disponível em: <<https://horusaeronaves.com/ebook/ebook-guia-pratico-horus.pdf>>. Acesso em: 05 nov. 2019.

AGOSTINHO, Juliano Cesar Pinto. **Gestão Municipal com o uso de geotecnologias**. Campinas – SP, 2007.

AGUIAR, Anderson A.; MITISHITA, Edson A. **Aerotriangulação de aerofotos digitais no sistema monorestituidor**. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente – SP. 2002

ALMEIDA, I. de C. *et al.* **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários**. Universidade Católica de Pernambuco. Recife, 2016.

ALMEIDA, Tainara Mendes; GIONGO, Pedro Rogério. **Fotointerpretação aplicada na identificação do uso do solo na região de Ribeirão Preto-SP**. Ribeirão Preto, 2014

ANAC. **Orientações para usuários de drones**. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

AZAMBUJA, José Luiz Fay; MATSUOKA, Marcelo Tomio. **Topografia e GPS—conquistas e desafios**. Série em geomática, p. 13, 2007.

BARUZZI, Filipe Andrade. **Design conceitual de um veículo aéreo não tripulado movido a energia solar capaz de realizar voo contínuo**. 2016. 200 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2016.

BRANDALIZE, Maria Cecília B. **Apostila de Topografia para Engenharia Civil e Arquitetura**. Paraná. 2008.

BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: EdUERJ, 2007. 196 p.

CANGUSSU, Adriano Aparecido Dias; CAMPANO JUNIOR, Maurilio. **Quadricóptero: um projeto de veículo não-tripulado**. **Journal Of Exact Sciences**, Maringá, n. 13, p.7-16, mar. 2015. Trimestral.

COSTA, Glauber Carvalho. **Análise dos produtos obtidos com aerolevantamentos utilizando câmaras digitais não-métricas para elaboração de anteprojetos rodoviários.** 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

DALMOLIN, Jorge Augusto et al. **Avaliação do uso da fotogrametria digital em levantamentos topográficos.** 2018.

DEBIASI, Paula; MITISHITA, Edson A. A influência da calibração aérea de uma câmara digital de baixo custo integrada com um sistema lidar no processamento de aerotriangulação. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 19, n. 4, p. 687-710, 2013.

DINIZ, Émerson. **Avaliação de produtos aerofotogramétricos alternativos com câmaras digitais não métricas de pequeno formato em voo apoiado.** São Paulo, 2016. 109 p.

DJI. **Phantom 3 Advanced.** Disponível em: <<https://www.dji.com/br/phantom-3-adv>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

DRONEENG. **E-book Topografia x Fotogrametria: Produtividade, Equipamentos e Resultados.** 2018. Disponível em: <<http://conteudo.droneng.com.br/e-book-drones-e-topografia>>. Acesso em: 10 set. 19.

FARAH, TTQ; SEIXAS, A. Automação do procedimento de campo com o emprego de estação total para o levantamento e locação de obras da construção civil. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife-PE**, 2010.

FELIPE, Alexandre Luis da Silva. **Topografia convencional na aferição de áreas obtidas por georreferenciamento e Google Earth / Alexandre Luis da Silva Felipe.** – Botucatu : [s.n.], 2015 vii, 40f.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin *et al.* Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2013.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em aerolevantamentos.** Brasília, 2014. 92 páginas.

GEOTRACK. **O sistema RTK convencional.** 2016. Disponível em: <<https://www.geotrackconsultoria.com.br/blog/4-o-sistema-rtk-convencional>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

GUIMARÃES, Guilherme Henrique Silva; RIOS, Leonardo. I Seminário de Políticas Públicas e Desenvolvimento Territorial. Araraquara – SP, 2017

INFRAESTRUTURA, Secretaria da. **Tabela de Custos: 26**. 2019. Disponível em: <<https://sites.seinfra.ce.gov.br/siproce/onerada/html/tabela-seinfra.html>>. Acesso em: 10 jul. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Informações sobre posicionamento geodésico**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/10855-modelo-de-ondulacao-geoidal.html?=&t=sobre>>. Acesso em: 31 out. 2019.

JERONYMO, Andre Colares; PEREIRA, Pâmela Brunetto Alves. **Comparação de métodos de levantamento topográfico, utilizando escâner a laser, estação total e fotogrametria terrestre**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2015.

JORGE, L. A. C. **Metodologia para utilização de aeromodelos em monitoramento aéreo: análise de imagens**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2003. (Circular Técnica).

LIMA, Elen Marten de; THOMAZ, Thiago Alexandre Marques; SEVERO, Tiago Cavagnoli. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato**. 2010.

LIMA, Gerson Oliveira. **Estudo comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrico) para fins de elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em Belém**. Belém, 2018. 72 f.

LOPES, Thiago. **Avaliação do uso de RPA quadrimotor para aplicações de mapeamento**. 2019. 128 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2019.

LUZ, Cristhyano Cavali da. **Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de veículos aéreos não tripulados (SISVANT)**. Curitiba, 2015. 118f

MEDEIROS, Fabrício Ardais. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)- Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao processamento de imagens e sensoriamento remoto**. Brasília, 2012

MIRANDA NETO, Milton. **Sistema automático de planejamento de voos e tratamento de imagens para veículo aéreo não tripulado**. Uberlândia, 2016. 86 f.

NASCIMENTO, Jackson Silva; GONÇALVES, Bruna Bugarin Tavares; CINTRA, Cynthia Leonis Dias. Otimização da segurança em canteiros de obras utilizando veículos aéreos não tripulados (vants) com controle de voo via arduino yun. **Acta Tecnológica**, São Luis, p.63-72, nov. 2017. Semestral.

OLIVEIRA, Henrique Carvalho de; JESUS, Henrique Potenciano de. **Análise comparativa de levantamentos planialtimétricos–topografia convencional, gps e drone**. Goiânia-GO, 2018.

PARROT. **Anafi**: Guia do utilizador. 2019. Disponível em: <https://www.parrot.com/files/s3fs-public/firmware/anafi_guia_do_utilizador_v2.3.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2019.

PEIXOTO, Floriano. **Drone de asa fixa eficiente e de baixo custo é possível!** 2018. Disponível em: <<https://droneshowla.com/drone-de-asa-fixa-eficiente-e-de-baixo-custo-e-possivel/>>. Acesso em: 07 dez. 2019.

ROSALEN, D. L. et al. **Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada**. 2017

SANTANA, T. A.; RAMOS, T. S.; RIBEIRO, L. C. **A regulamentação do emprego de RPAs e o possível uso na geração e atualização de bases cadastrais dos municípios brasileiros**.

SANTOS, Erivanda Carvalho dos et al. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio–Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011.

SANTOS, Heberth Ribeiro. **Comparação entre os métodos GPS e imagem de satélite em levantamentos de áreas florestais**. Curitiba, 2012.

SANTOS, Luiz Fernando Bohnenberger dos. **Avaliação de modelo digital de terreno gerado através de VANT em planícies pantaneiras**. Cuiabá – MT, 2016.

SANTOS, Suzana Daniela Rocha et al. Considerações sobre a utilização do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) nos dias atuais. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação Recife**, 2010.

SILVA, Daniel Carneiro; COSTA, Glauber Carvalho. **Aerofotogrametria em projetos de estradas**. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2010.

SILVA, João Edson Costa Ferreira; BOTELHO, Mosar Faria. Cadastro Ambiental Rural utilizando imagem de drone aerofotogramétrico. **Revista Agrogeoambiental**, 2017.

SILVEIRA, Marcelo Teixeira *et al.* Um método híbrido para localização automática de pontos homólogos em pares de imagens estereoscópicas. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, 2008.

TECNOLOGIA, Cpe. **MDS MDT**. Disponível em: <<https://blog.cpetecnologia.com.br/mdt-e-mds-voce-sabe-a-diferenca/mdt-mds/>>. Acesso em: 07 dez. 2019

TOMOYOSE, Alexandre Nascimento. **Comparação e classificação de técnicas de estereoscopia para realidade aumentada e jogos** / A.N. Tomoyose – São Paulo, 2010

VEIGA, L. A. K; ZANETTI, M. A. Z; FAGGION, P. L. Fundamentos de Topografia. Apostila do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2012

APÊNDICE – RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO AGISOFT**Processing Report 09 July 2019**

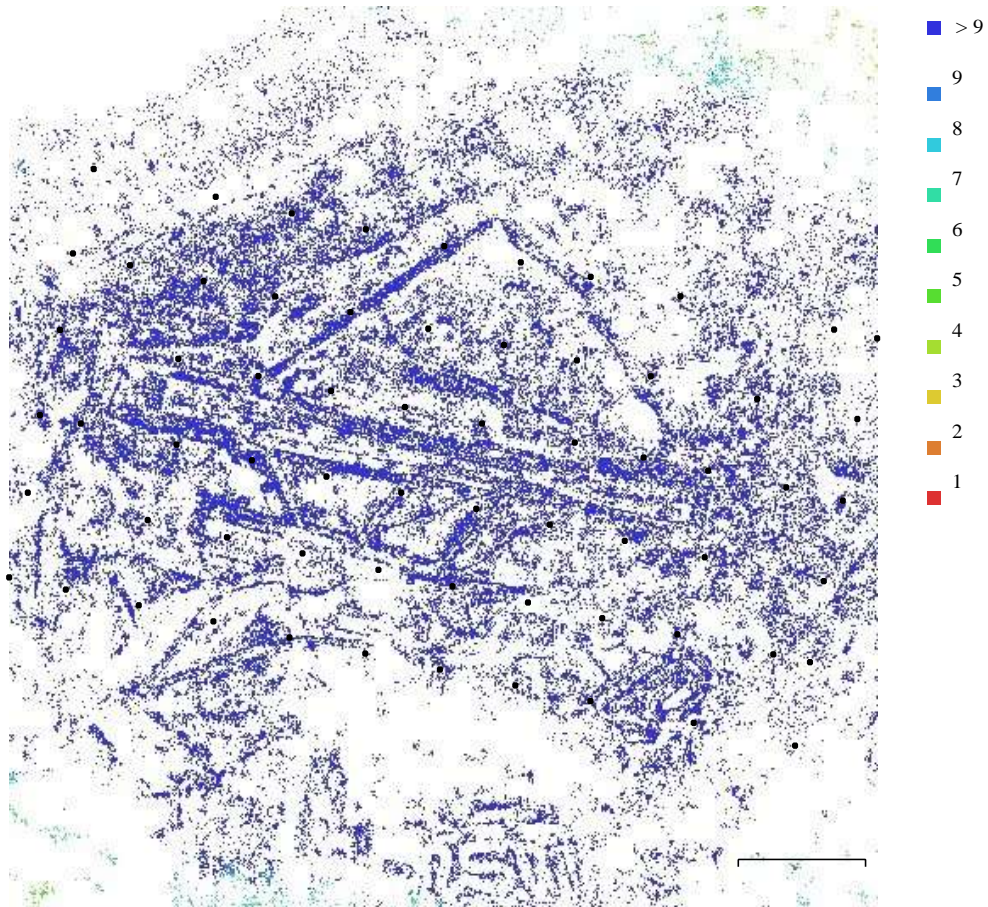


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	65	Camera stations:	65
Flying altitude:	141 m	Tie points:	110,775
Ground resolution:	3.96 cm/pix	Projections:	386,926
Coverage area:	0.0248 km ²	Reprojection error:	1.23 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
Anafi (4mm)	5344 x 4016	4 mm	1.12 x 1.12 um	Não

Table 1. Cameras.

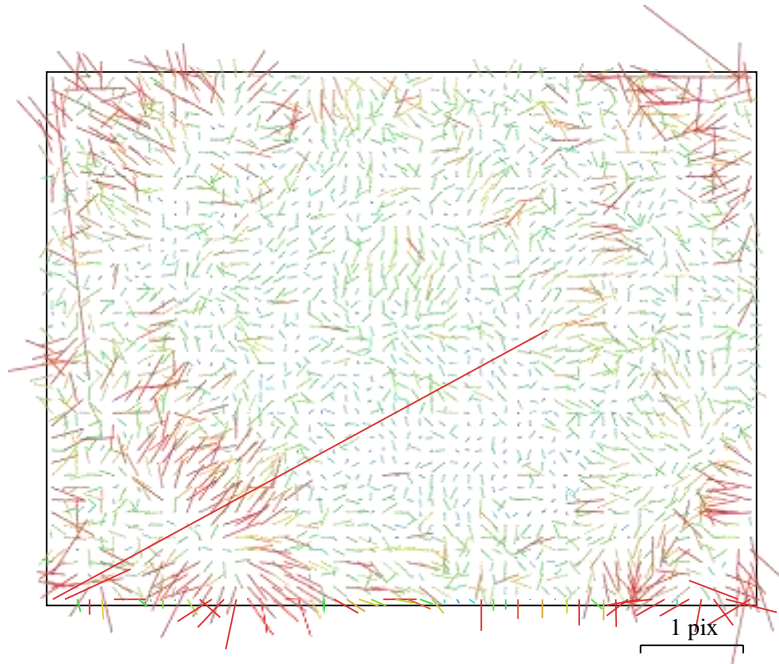


Fig. 2. Image residuals for Anafi (4mm).

Anafi (4mm)

65 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 5344 x4016 4 mm 1.12x1.12um

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	3571.43											
Cx	21.0207	0.14	1.00	-0.07	-0.03	0.00	-0.05	0.02	0.01	-0.04	-0.95	0.08
Cy	5.94187	0.14		1.00	-0.03	-0.02	0.03	-0.02	0.02	-0.02	0.08	-0.96
B1	-6.21321	0.08			1.00	-0.01	0.04	-0.07	0.07	-0.06	0.02	0.04
B2	1.035	0.073				1.00	-0.00	0.01	-0.01	0.01	-0.01	0.02
K1	-0.236031	4.9e-005					1.00	-0.91	0.82	-0.75	0.04	-0.02
K2	-0.00517202	0.00013						1.00	-0.98	0.93	-0.02	0.02
K3	0.0420581	0.00013							1.00	-0.99	-0.01	-0.02
K4	-0.0120232	4.3e-005								1.00	0.04	0.03
P1	0.000291637	6.8e-006									1.00	-0.09
P2	6.40275e-005	7.2e-006										1.00

Table 2.

Calibration coefficients and correlation matrix.

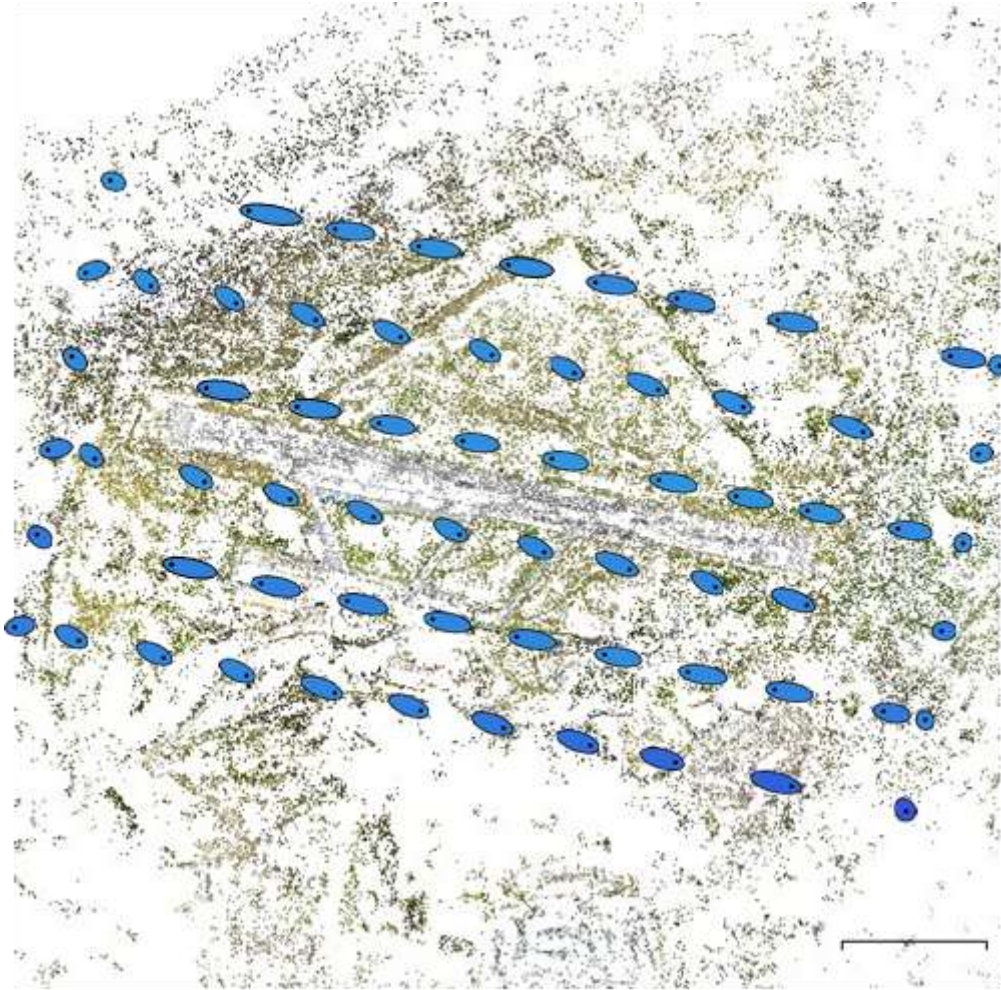


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

Xerror (m)	Yerror (m)	Zerror (m)	XYerror (m)	Totalerror (m)
4.09295	1.1637	15.0694	4.25517	15.6586

Table 3. Average camera location error. X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

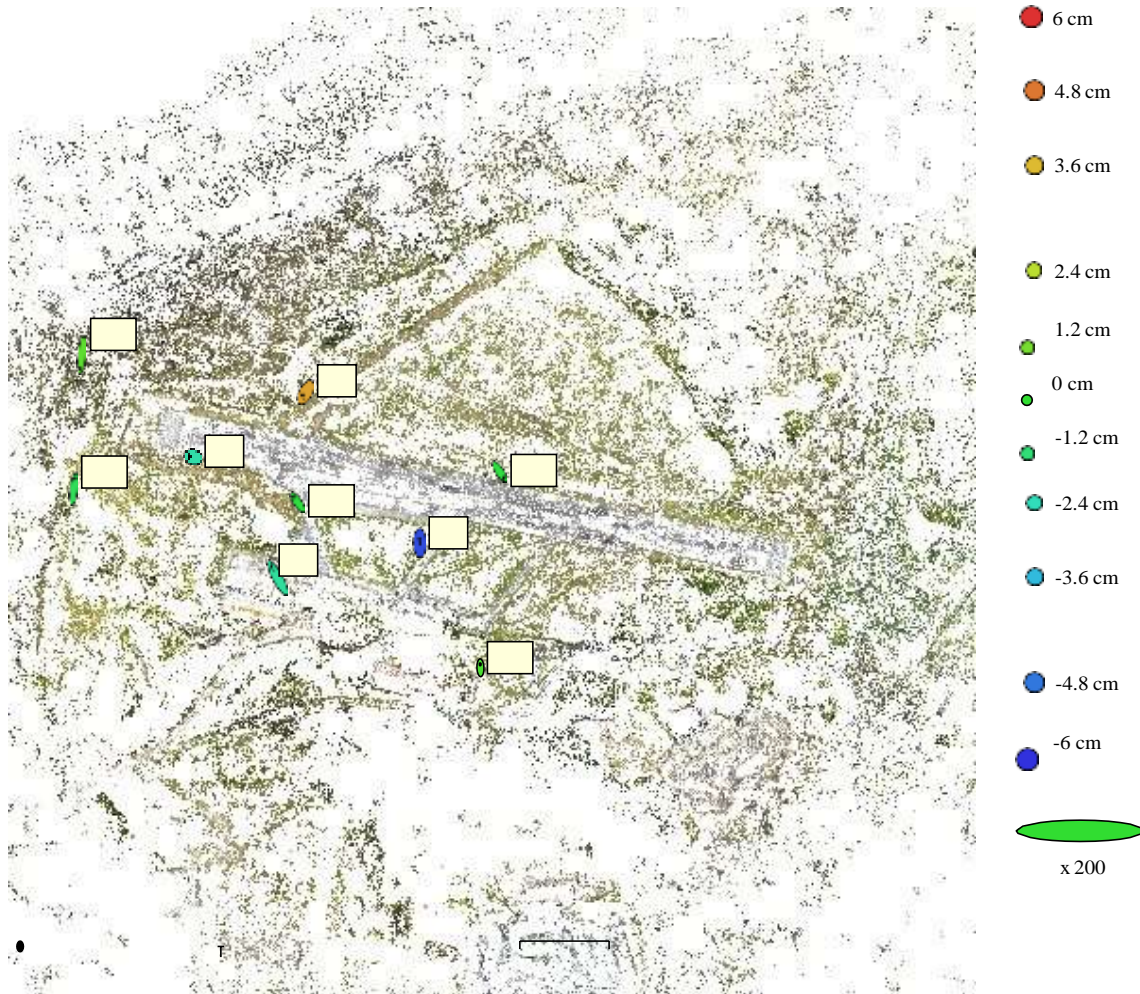


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
5	1.54194	2.90371	0.527107	3.28772	3.32971

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
4	2.31173	2.21056	3.69072	3.19854	4.88386

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
GCP-01	-0.667854	-4.56258	0.779107	4.67656	0.549 (12)
GCP-02	0.693933	3.53902	-0.672523	3.66858	0.582 (12)
GCP-03	-2.30602	1.90343	-0.258298	3.00124	0.645 (10)
GCP-04	2.37371	-1.97855	-0.286288	3.1034	0.519 (12)
GCP-05	-0.0906218	1.13054	0.425719	1.21144	0.640 (12)
Total	1.54194	2.90371	0.527107	3.32971	0.587

Table 6. Control points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
CH-01	-1.84336	-1.45138	4.03459	4.66716	0.441 (12)
CH-02	-2.22851	0.255765	-2.06926	3.0518	0.585 (12)
CH-03	-3.60634	3.92924	-1.85879	5.64798	0.678 (12)
CH-04	-0.0808937	1.39119	-5.52004	5.69323	0.509 (12)
Total	2.31173	2.21056	3.69072	4.88386	0.560

Table 7. Check points.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

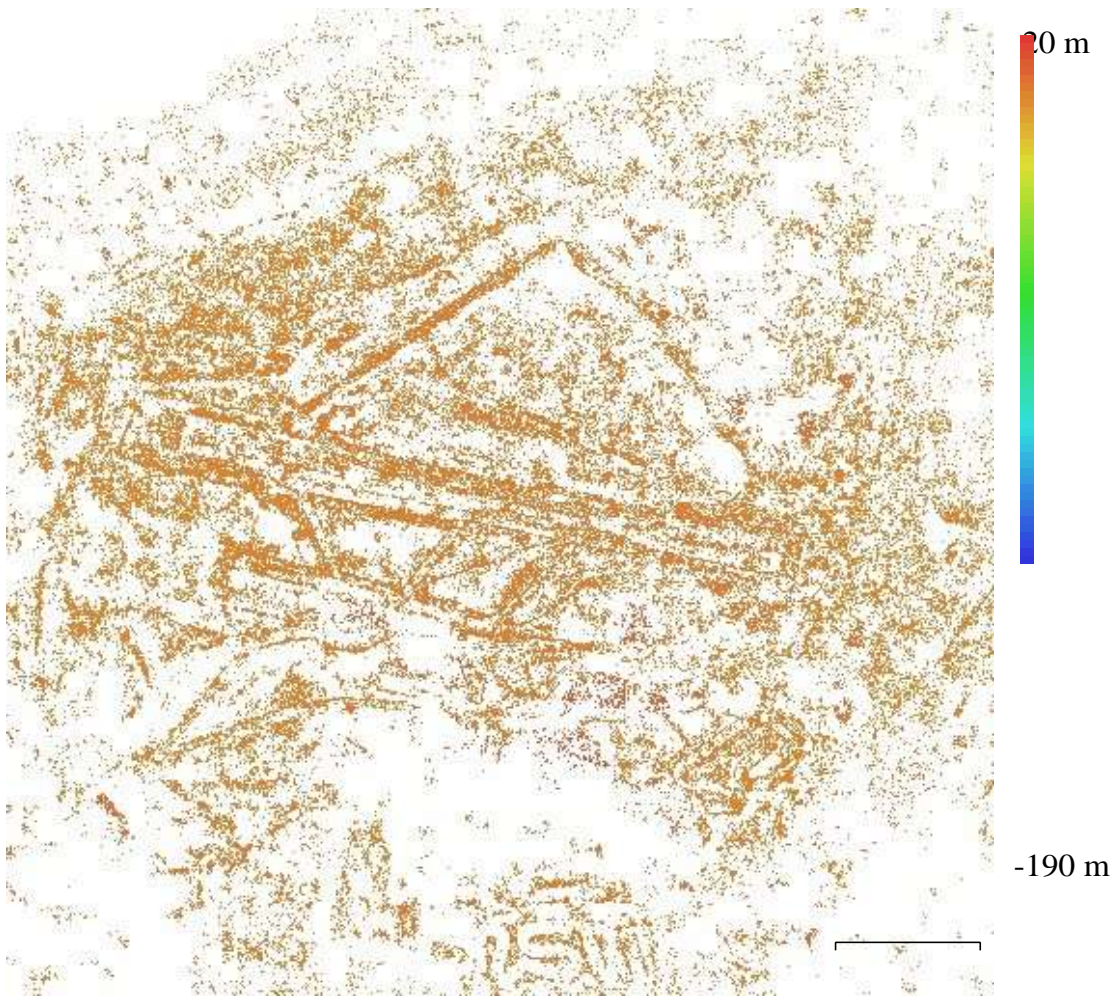


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Geral:

Câmaras: 65

Aligned câmeras: 65

Marcadores: 9

Coordinate system: SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Rotation angles: Y aw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos:

Pontos: 110,775 of 120,691

RMS reprojection error: 0.278415 (1.22863 pix)

Max reprojection error: 0.845385 (35.5524 pix)

Mean key point size: 4.69949 pix

Cores dos pontos: 3 bands, uint8

Key points: Não

Average tie point multiplicity: 3.86611

Parâmetros de alinhamento:

Precisão: Elevada

Generic preselection: Não

Reference preselection: Sim

Key point limit: 40,000

Tie point limit: 10,000

Adaptive camera model fitting: Sim

Matching time: 8 minutes 12 seconds

Alignment time: 29 seconds

Software version: 1.5.3.8469

Software:

Version: 1.5.3 build 8469. Platform: Windows 64