

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE GEOGRAFIA
ENGENHARIA DE AGRIMENSURA E CARTOGRÁFICA
CAMPUS MONTE CARMELO

JOSÉ VINÍCIUS NUNES MACEDO

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA
IMAGEAMENTO DA ÁREA URBANA DE MONTE CARMELO – MG E
ELABORAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL**

MONTE CARMELO

2019-2

JOSÉ VINÍCIUS NUNES MACEDO

**UTILIZAÇÃO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA
IMAGEAMENTO DA ÁREA URBANA DE MONTE CARMELO – MG E
ELABORAÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA DIGITAL**

Monografia apresentada como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica na Universidade Federal de Uberlândia, *campus* Monte Carmelo.

Área de Concentração: Aerofotogrametria aplicada ao Cadastro.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis.

MONTE CARMELO

2019-2

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por ter me provido de persistência para superar os obstáculos que encontrei no caminho, e conseguir chegar até aqui neste momento.

À toda minha família e amigos, que sempre me incentivaram a continuar e me apoiaram nos momentos de desânimo com o dia a dia acadêmico.

Aos professores e amigos que fiz na faculdade, e que de alguma contribuíram para o meu aprendizado, progresso no curso e o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Rodrigo Gallis por ter aceitado ser meu orientador neste projeto e por sua ajuda na resolução de problemas corriqueiros do trabalho.

Agradeço ao Prof. Dr. Mario Luiz Lopes Reiss (UFRGS) por ceder o VANT e realizar o voo usado para o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

A aerofotogrametria sempre foi uma ciência de grande importância na investigação de mudanças no ambiente, ao longo dos anos a fotogrametria clássica que faz uso de aeronaves tripuladas vem sendo substituída pelo uso de aeronaves remotamente pilotadas fato que se deve à simplicidade dos processos que envolvem o uso do ARP. Assim sendo este trabalho tem por objetivo usar uma aeronave remotamente pilotada de asa fixa e com uma maior autonomia que permita coletar imagens de uma área teste no município de Monte Carmelo – MG, e que possa produzir uma ortofoto com uma qualidade posicional submétrica que atenda aos requisitos da PEC Classe A para produtos cartográficos digitais possibilitando seu uso como uma base para o cadastro urbano. O ARP usado para a realização do voo foi do modelo eBee, e o método usado no levantamento dos pontos de controle naturais foi o posicionamento relativo estático. Algumas feições como quadras e lotes foram vetorizadas na ortofoto que atendeu a qualidade da PEC-PCD Classe A com um valor de 0,28 mm para uma escala de referência 1/1000.

Palavras-chave: Fotogrametria, imageamento, cadastro urbano.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 OBJETIVOS	8
2.1 Objetivo Específico	9
3 JUSTIFICATIVA	9
4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	9
4.1 Cadastro Urbano	9
4.2 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)	11
4.3 Legislação de Drone/ARP	13
4.4 Ortorretificação	14
4.5 Pontos de Controle	14
4.6 Análise de Qualidade	15
5 MATERIAL E MÉTODOS	16
5.1 Área de Estudo	16
5.2 Material	17
5.3 Métodos	19
5.3.1 Planejamento e Execução de Voo	19
5.3.2 Coleta dos Pontos de Apoio	20
5.3.3 Processamento das imagens	22
5.3.4 Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica	22
5.3.5 Vetorização de feições	23
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
9 CONCLUSÕES	26
REFERÊNCIAS	28

LISTA DE FIGURAS

Figura 01	Fluxograma das etapas	16
Figura 02	Localização geográfica da área de execução do voo	17
Figura 03	Aeronave eBee usada em voo	18
Figura 04	Receptor GPS ProMark 200 L1/L2	18
Figura 05	Ambiente computacional do <i>software</i>	19
Figura 06	Levantamento dos pontos de controle	20
Figura 07	Distribuição dos pontos de controle	21
Figura 08	Distribuição dos pontos de controle	22
Figura 09	Vetorização de área construída, lote e quadra	23
Figura 10	Recobrimento fotogramétrico de Monte Carmelo – MG	24
Figura 11	Campus da UFU na cidade	25
Figura 12	Prefeitura na região central da cidade	25
Figura 13	Mapa final com as vetorizações	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 01	Classificação da PEC-PCD quanto a acurácia	15
Tabela 02	Arquivo de dados no programa	23

1 INTRODUÇÃO

De acordo com o conceito de Wolf e Dewitt (2004), a Fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de se conseguir dados confiáveis sobre objetos e ambientes, através de métodos de gravação, mensuração e análise, de fotografias e imagens de forma genérica. Segundo Coelho e Brito (2007), essa informação tem ampla anuência e correlação com outros autores da área. Por consequência eles ampliam o conceito de forma a corroborar com o principal objetivo da Fotogrametria, que equivale em uma ciência e tecnologia de se reconstruir o espaço tridimensional, através de imagens bidimensionais, proveniente da gravação de padrões de ondas eletromagnéticas, sem contato direto entre o sensor e objeto.

De acordo com Tommaselli (2009), a evolução tecnológica da fotogrametria é dividida em 3 classes, fotogrametria analógica, analítica e digital, esta última, a que mais evoluiu nas últimas décadas com o aumento de processamento dos computadores, a evolução dos softwares de processamento e com o aparecimento das aeronaves remotamente pilotadas (ARP).

Segundo Pegoraro (2013), a Aerofotogrametria sempre foi uma ciência importante de apoio na investigação de mudanças no ambiente, sejam elas provocadas pela natureza ou pela interferência antrópica, porém a fotogrametria clássica, apesar de ser uma ótima ferramenta para o mapeamento de grandes extensões de terra, não é economicamente viável para áreas de pequena dimensão, devido à este fator, e outros como o planejamento de voo e a necessidade de espaços destinados à decolagem e aterrissagem, as aeronaves pilotadas vêm sendo gradualmente substituídas pelo uso de ARP's para o mapeamento aéreo.

Algumas vantagens dos ARP's na aerofotogrametria são a facilidade que eles apresentam tanto para manter uma resolução temporal quanto para o desenvolvimento do plano de voo, além disso, apresenta agilidade e baixo custo, se comparados com a fotogrametria clássica, tudo isso devido ao pequeno porte da aeronave que simplifica qualquer processo de planejamento e execução das etapas do mapeamento, tornando-o assim uma ótima ferramenta para a produção de bases cartográficas e sua atualização periódica (BRAZ, *et al.*, 2015).

Estes mapeamentos produzidos a partir do uso dos ARP's, podem ser utilizados para diversos fins, um deles é o Cadastro Técnico Multifinalitário, uma ferramenta de auxílio na

tomada de decisão e gestão de centros urbanos, e que necessita de constantes atualizações. A partir dela é possível realizar o planejamento do crescimento das cidades, identificar problemas e carências, e adequar a carga tributária das unidades territoriais (ANTUNES; HOLLATZ, 2015).

Segundo dados do IBGE (2010), o Brasil possui 5.565 municípios, dentre eles apenas 225 possuem população acima dos 100.000 habitantes. Em função dos elevados custos dos serviços de levantamento fotogramétricos, os números de Pegoraro (2013) indicam que dentre os municípios somente 4% deles podem contar com um acompanhamento e planejamento adequado da sua dinâmica ocupacional. Tem-se conhecimento de que a Aerofotogrametria continua sendo a melhor ferramenta para o recobrimento de grandes extensões de mapeamento em escala do mapeamento sistemático, porém, em áreas de pequena dimensão, ou para levantamentos por períodos curtos, ela não é viável do ponto de vista econômico, e é neste contexto que o ARP entra como potencial ferramenta.

O Cadastro Territorial Multifinalitário é um campo que necessita de atualizações constantes de dados cadastrais. Devido a isso, é interessante avaliar o potencial de um ARP com maior autonomia sendo usado como plataforma de carga de uma câmara para obtenção de imagens com alta resolução espacial, e posteriormente processar e obter um produto final, no caso uma carta topográfica cadastral, que é o objetivo deste trabalho.

O trabalho se baseia na hipótese de que a base cartográfica digital produzida a partir do mosaico das imagens obtidas por ARP, pode ser usada como um dado de extrema utilidade para o auxílio na gestão do cadastro e parcelamento urbano, e criação de uma base de dados em formato de SIG principalmente para ser utilizado em pequenas prefeituras.

2 OBJETIVOS

Produzir uma ortofoto com qualidade posicional submétrica que possa gerar uma base cartográfica, o ortomosaico, com classificação da PEC-PCD classe A e que possa ser utilizada como ferramenta no Cadastro Técnico Multifinalitário do município.

2.1 Objetivo Específico

- Recobrir áreas maiores que as recobertas pelas aeronaves remotamente pilotadas multirotores;
- Aumentar a precisão do mapeamento utilizando pontos de controle coletados no terreno para a aerotriangulação;
- Obter uma qualidade geométrica que possibilite a vetorização da ortofoto para produção da base cartográfica;

3 JUSTIFICATIVA

O cadastro territorial urbano é uma importante ferramenta de gestão para auxílio na tomada de decisão dos administradores do município. Organiza o ordenamento territorial e facilita a visualização de carências e planejamento da infraestrutura na área urbana, onde estão localizados bairros residenciais, industriais e comerciais, a distribuição espacial dos equipamentos comunitários como escolas e postos de saúde, e em quais regiões da cidade direcionar a sua expansão, tudo isso por meio do uso de um Sistema de Informações Geográficas.

O ARP por sua vez se mostra uma ferramenta promissora no levantamento de feições tanto no âmbito urbano quanto no rural e pode contribuir de maneira satisfatória na gestão pública e tomada de decisões administrativas (PEGORARO; GUBIANI; PHILIPS, 2013). No caso deste trabalho de Graduação, o intuito é utilizar e validar uma metodologia de coleta de imagens de baixo custo para fornecer imagens de alta resolução geométrica para utilização na produção de bases cartográficas digitais para utilização no Cadastro Técnico Multifinalitário.

4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Cadastro Urbano

A expansão das cidades e centros urbanos muitas vezes trazem à tona complicações na gestão e controle de fatores importantes para o bem-estar da população, o crescimento no número de habitações pode exigir um planejamento da infraestrutura básica melhor do que o

existente. Condições precárias podem surgir devido à deficiência na infraestrutura, existência de poucos equipamentos comunitários, como centros de saúde e educação bem distribuídos pela cidade, falta de habitações planejadas, podendo favorecer mais tarde o surgimento de favelas, dificultando o acesso ao saneamento básico de qualidade, e favorecendo o surgimento de circulação viária improvisada e instalações elétricas clandestinas expondo os habitantes locais ao risco (ANTUNES; HOLLATZ, 2015).

De acordo com Loch (2001), as pesquisas na área do cadastro territorial multifinalitário teve seu início no Brasil na década de 70, mas só a partir da década de 80 é que houve investimentos de órgãos governamentais visando solucionar o grande número de conflitos territoriais e processos judiciais. O CTM, pela visão cartográfica, representa um mapa com informações temáticas a respeito de uma estrutura fundiária. Mas, também apresenta o uso e ocupação de um território levando em conta as variáveis que ali estão presentes, ou seja, as pessoas. (LOCH E ERBA,2007).

O Cadastro Técnico Multifinalitário (CTM) é uma ferramenta útil para a tomada de decisão no planejamento de cidades, sua área de abrangência vai do saneamento básico, passando por cadastro de vias de acesso, mapeamento de redes elétricas e vários outros elementos urbanos, pode auxiliar ainda na delimitação de imóveis, parcelas, na regularização fundiária, atualização tributária, entre outras aplicações. Os produtos cartográficos utilizados nesta ferramenta podem ser gerados através de recobrimento aerofotogramétrico da região usando ARP's para este fim, porém há necessidade de uma atualização constante da base cartográfica, já que o acompanhamento temporal identifica novas feições no ambiente ou até mesmo alteração dos elementos já existentes (FONSECA NETO, *et al.*, 2017).

A atualização constante da base cartográfica é um dos principais problemas enfrentados pelos órgãos reguladores. O alto custo do processo é um dos empecilhos para tornar o CTM uma ferramenta mais difundida pelos municípios brasileiros. O uso do ARP no recobrimento aerofotogramétrico é uma das alternativas mais viáveis nas cidades de pequeno porte para reduzir o custo do processo, facilitando a implantação do CTM nos municípios brasileiros, e aumentando seu reconhecimento como uma ferramenta de auxílio na gestão do crescimento e estruturação do município (ANTUNES; HOLLATZ, 2015).

Para o desenvolvimento de políticas públicas e fiscais o MMA (Ministério do Meio Ambiente) já se apoiou no CTM como base para a criação do CAR (Cadastro Ambiental Rural), que é uma parcela da propriedade rural que deve ser demarcada como uma área de

proteção da vegetação, seja ela Área de Preservação Permanente ou Reserva Legal (FONSECA NETO, *et al.*, 2017).

4.2 Aeronave Remotamente Pilotada (ARP)

Os ARP's atualmente estão sendo amplamente utilizados na Aerofotogrametria, o que é justificado na facilidade para o recobrimento e imageamento do terreno e o processamento rápido dos dados, oferecendo as imagens em tempo próximo ao real. Outra vantagem é o baixo custo se comparado com métodos tradicionais de recobrimento aerofotogramétrico que usa de aeronaves pilotadas e câmeras de maior porte que envolvem um custo considerável (BRAZ, *et al.*, 2015).

A Portaria Normativa nº 606 do Ministério da Defesa, de 11 de junho de 2004, caracteriza-o, através de seu Artigo 4º, como sendo:

“Uma plataforma aérea de baixo custo operacional que pode ser operada por controle remoto ou executar perfis de voo de forma autônoma podendo ser utilizada para:

- a) transportar cargas úteis convencionais, como sensores diversos e equipamentos de comunicação;
- b) servir como alvo aéreo; e
- c) levar designador de alvo e cargas letais, sendo nesse caso empregado com fins bélicos.”

Os primeiros ARP's apareceram no país por volta da década de 1970 a partir de um projeto da Marinha Brasileira, o qual era incumbido por missões de controle do espaço aéreo nacional (EIRIZ, 2012). Depois desse período, na década de 1980, o Comando Geral de Tecnologia Aeroespacial (CTA) deu início a um período de estudo sobre as aeronaves não tripuladas, criando o primeiro veículo nacional para uso militar, nomeado Acauã. Entretanto, somente na década de 1990 o ARP's começou a ser comercializado para fins civis e desde então vem sendo empregue no monitoramento privado. No momento, a Marinha e o Exército Brasileiro possuem um ARP's como alvo aéreo manobrável denominado ARP's Harpia, cuja missão é o reconhecimento tático para o Exército objetivando a segurança nacional (ALVES, 2012).

Outro fator que justifica o amplo uso do ARP (também chamado de SC – Sistema Conjunto), é o avanço tecnológico de ferramentas importantes nos últimos anos, a evolução de computadores e programas (*hardware e software*) que resultam numa maior capacidade de processamento e armazenamento, e a melhoria dos componentes eletrônicos, o sistema inercial, receptor GNSS, e outros (FONSECA NETO, *et al.*, 2017).

As nomenclaturas para este mesmo equipamentos são várias, o VANT (em inglês, denominado de UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*) é geralmente referido como uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) ou Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), entretanto o equipamento é mais comumente chamado de Drone. O termo ARP inclui também a carga do sistema, que são os equipamentos complementares ao Drone, entre eles a câmera, rádio de comunicação e o GPS (MAFRA FILHO, *et al.*, 2017).

Os ARP's apresentam geralmente uma boa resolução espacial, o operador tem a liberdade de obter imagens em diferentes momentos, e o desenvolvimento dos planos de voos é mais simplificado, também há a possibilidade de se criar uma base usando imagens multitemporais, proporcionando qualidade, agilidade e baixo custo (BRAZ, *et al.*, 2015).

Com os dados da execução do voo em mãos, é preciso avaliar a qualidade geométrica dos dados geográficos obtidos. Esta etapa é necessária para definir em quais aplicações esses dados podem ser utilizados, mostrando as restrições e potencialidades dos dados como ferramenta (DA SILVA, *et al.*, 2015).

Hoje em dia, encontram-se no mercado uma enorme diversidade de modelos de ARP's, com particularidades e distintas aplicações. Os ARP's são classificados de acordo com seus atributos técnicos, como exemplo, material utilizado em sua fabricação, peso, dimensão, aerodinâmica, execução de voo, duração do tempo de voo entre outras (ANGELOV, 2012).

No ano de 2017 a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) junto ao DECEA (Departamento de Controle do Espaço) e a ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicação), aprovaram o regulamento especial para o uso de aeronaves não tripuladas em operações civis (ANAC, 2017). Os procedimentos feitos pelas aeronaves não tripuladas (de uso corporativo, recreativo, experimental ou comercial) a partir deste ano, devem estar de acordo com as novas regras.

4.3 Legislação de Drone/ARP

O conjunto de leis que vigora no território brasileiro sobre o uso de aeronaves para fins civis, é de responsabilidade da ANAC (Agencia Nacional de Aviação Civil) e DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo). Também o uso de aeronaves não tripuladas, que são os aeromodelos e ARP's, também conhecidos comumente como drones, é regularizado pela ANAC. Os aeromodelos são as aeronaves remotamente pilotadas que são usadas para atividades de lazer e recreação, e ARP as aeronaves remotamente pilotadas que são usadas para outros fins como experimentais, comerciais ou institucionais. O órgão classifica ARP de acordo com o peso máximo de decolagem (PMD) que o dispositivo carrega da seguinte maneira:

- Classe 1: ARP com PMD maior que 150 kg;
- Classe 2: ARP com PMD maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg;
- Classe 3: ARP com PMD menor ou igual a 25 kg.

O equipamento utilizado neste trabalho corresponde à “Classe 3”. Nesse sentido ANAC estabelece normas gerais para o uso de ARP's em aerolevantamentos em que o piloto é impossibilitado de intervir. É proibido no Brasil voos abaixo de 30 metros e menores de dezoito anos operarem esses equipamento. Em caso de infrações o responsável, ou responsáveis, estão sujeitos a punição de acordo com o descrito no Código Brasileiro de Aeronáutica (ANAC, 2017).

Durante o desenvolvimento deste projeto será utilizado uma ARP que se encaixa na Classe 3 do órgão. De acordo com ANAC (2017), nesta classe os voos deverão ser de no máximo 120 metros, se esta altitude for excedida é necessário possuir uma licença e habilitação válida junto à ANAC.

A operação de aeromodelos e ARP só poderá ser feita quando respeitada a distância-limite mínima de 30 metros horizontais de distância das pessoas não anuentes ou não envolvidas com a operação, essa distância não precisa ser respeitada caso haja uma barreira mecânica suficientemente forte para isolar e proteger terceiros no caso de acidente, e cada piloto é permitido operar remotamente apenas um equipamento por vez. Além disso, é requisito para pilotagem destas aeronaves remotamente pilotadas que o operador possua 18 anos de idade ou mais (ANAC, 2017). Simultaneamente, as regulamentações de outros órgãos da administração pública direta e indireta, tais como a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, o

Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA e o Ministério da Defesa devem ser observadas e analisadas, assim como as legislações que fazem menção às responsabilizações nas esferas civil, administrativa e penal que podem incidir sobre o uso de aeronave não tripulada, assim como àquelas disposições referentes à inviolabilidade da intimidade, da vida privada, da honra e da imagem das pessoas (ANAC, 2017).

4.4 Ortorretificação

A ortorretificação é um processo de correção da imagem que visa eliminar os erros internos (do sistema) e externos (relevo), como exemplo do erro interno temos distanciamento radial dos pontos ao centro de perspectiva da câmera o que faz com que a imagem represente as feições distantes do centro de maneira inclinada, e também como erro externo temos a influência do relevo natural, a correção dos erros externos é necessária já que o relevo natural possui ondulações e precisa ser projetado de maneira plana para ser caracterizado como uma projeção cartográfica. Todo esse processo é realizado para aumentar a precisão das coordenadas reduzindo os erros de perspectiva e a influência do relevo, e pode contar ou não com o uso de pontos de controle para auxiliar a correção, porém sempre haverá alguma distorção na imagem já que a cartografia é uma tentativa de representar de maneira plana a superfície terrestre que possui uma esfericidade.

4.5 Pontos de Controle

Os pontos de controle ou de apoio são pontos foto identificáveis ou com marcação a tinta no chão, que irão aparecer nas imagens aéreas. Eles podem ser classificados em alvos naturais, como exemplo temos os pontos de esquina e também a sinalização horizontal viária, eles possuem a vantagem de que não serão removidos do solo. Já os artificiais são os alvos fixados em solo antes da execução do voo, são comuns em zonas rurais já que a visualização de pontos de referência é dificultada pela homogeneidade do solo. Independentemente do tipo os pontos de apoio tem a função de aumentar a acurácia do mapeamento aéreo e podem também estabelecer uma relação do sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do solo, apesar do GPS embarcado no ARP já ter essa função e fornecer uma imagem georreferenciada. Ao final do processamento das imagens outros pontos são usados

para medir a acurácia e confiabilidade do levantamento, são os chamados pontos de verificação, possuem as mesmas características dos demais apenas diferem na finalidade que é avaliar a qualidade do produto (SILVA NETO, 2015).

De acordo com resultados de Zanetti (2017) os pontos de controle reduzem a discrepância dos dados, por isso o uso de pontos de controle bem distribuídos pelo terreno com uma quantidade que represente bem o relevo podem aumentar a acurácia do mapeamento.

4.6 Análise de Qualidade

A Análise da Exatidão Cartográfica consiste em avaliar estatisticamente as discrepâncias entre as coordenadas de pontos da carta e as coordenadas de pontos homólogos obtidos a partir de pontos observados no terreno ou de uma fonte com precisão confiável (RAMOS et al., 2017). O PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) estabelece a qualidade do produto cartográfico, classificando-o em classes (A, B ou C), aferindo a exatidão posicional. Este decreto criado em 20 de junho de 1984, estabelece padrões que deverão ser seguidos na composição de documentos cartográficos em âmbito nacional. É um meio de apontar estatísticas de dispersão, onde se estipula a exatidão do produto cartográfico, envolvendo levantamentos de extrema exatidão e métodos estatísticos.

O PEC foi instituído por um Decreto-Lei e classifica os mapas de acordo com as tolerâncias de erro, ele é uma maneira de avaliar a qualidade do mapeamento produzido de acordo com a sua escala de representação. Há tempos atrás o PEC avaliava tanto os produtos cartográficos analógicos quanto digitais, porém foi criado o PEC-PCD para avaliar exclusivamente a acurácia posicional para as bases cartográficas digitais (ZANETTI, 2017).

Tabela 01 – Classificação da PEC-PCD quanto a acurácia.

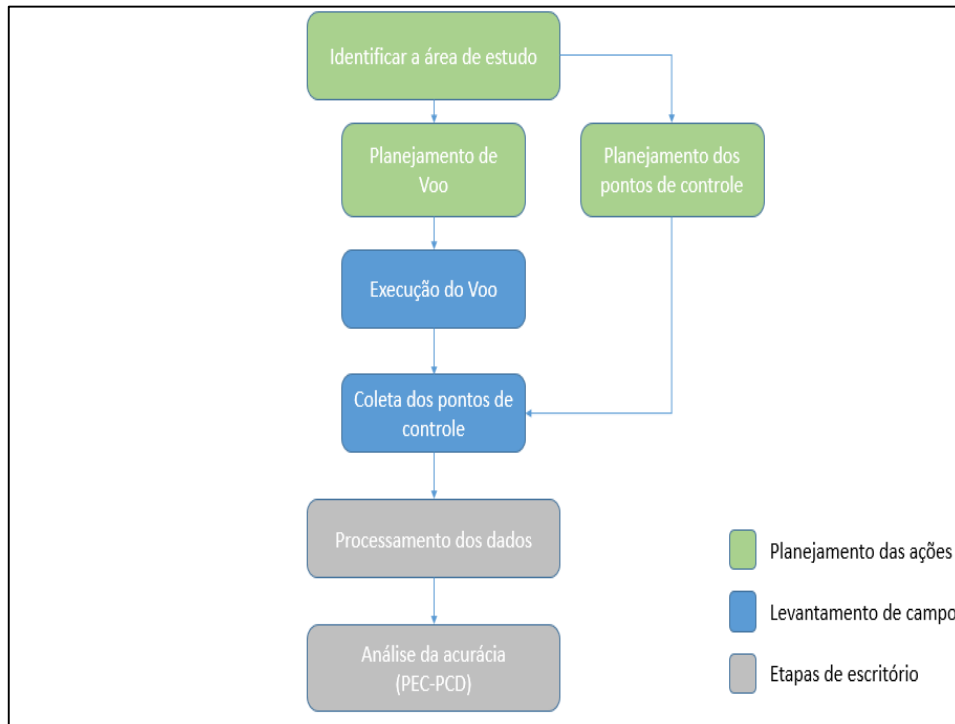
Classe PEC-PCD	Planimétrica		Altimétrica	
	PEC(mm)	EP(mm)	PEC	EP
A	0,28*esc	0,17*esc	0,27*eq	0,17*eq
B	0,5*esc	0,3*esc	1/2*eq	1/3*eq
C	0,8*esc	0,5*esc	3/5*eq	2/5*eq
D	1*esc	0,6*esc	3/4*eq	1/2*eq

Fonte: Adaptado de Zanetti (2017).

5 MATERIAL E MÉTODOS

Esta seção do trabalho visa descrever a localização geográfica da área de realização do estudo e em qual região ela está inserida, apresentar o material que será utilizado para o desenvolvimento do projeto, e também as especificações dos métodos para se obter os resultados.

Figura 01 – Fluxograma das etapas

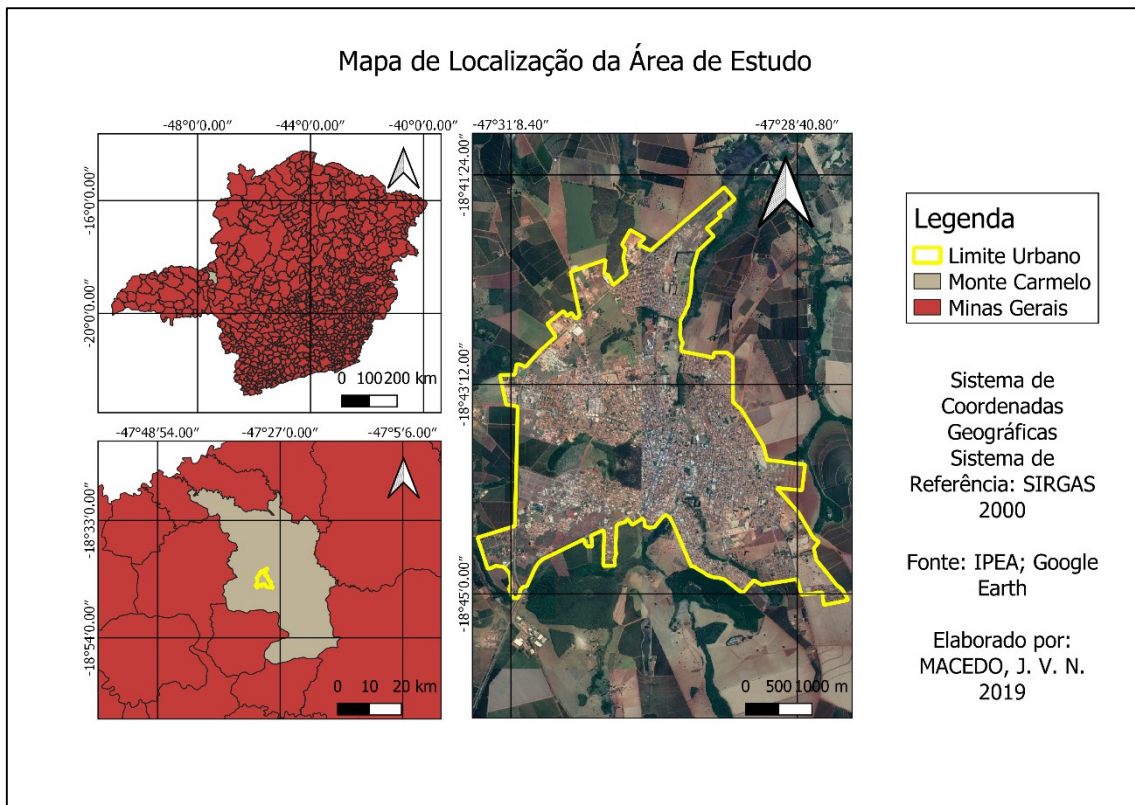


Elaboração: O autor.

5.1 Área de Estudo

A área teste para a execução do voo está localizada dentro da área urbana do município de Monte Carmelo, que faz parte da região do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, distante 497 km da capital do estado, Belo Horizonte, e 417 km de Brasília, capital administrativa do país, aproximadamente nas coordenadas de latitude $18^{\circ}43'30''S$ e longitude $47^{\circ}29'56''O$. Em função da área de estudo estar localizada dentro do mesmo município que o *campus* da faculdade, há uma maior facilidade para deslocamento, execução do voo e agilidade no levantamento dos pontos de controle.

Figura 02 – Localização geográfica da área de execução do voo



Elaboração: O autor.

5.2 Material

O eBee é o modelo de ARP que será utilizado para o desenvolvimento do projeto. De acordo com o site da senseFly, empresa que desenvolve e vende estes equipamentos, o eBee chega a possuir uma autonomia de 90 minutos para voo, para cobrir até 500 hectares a uma altura de 400 pés o que equivale aproximadamente a 122 metros, e podendo chegar a uma precisão de até 3 centímetros sem o uso de GCP (*Ground Control Point* – Pontos de Controle no Terreno). Possui uma tecnologia de pouso estável, portanto, dispensa catapulta e paraquedas para o lançamento e pouso. Conta ainda com um design robusto, dados de tráfego aéreo ao vivo, e uma câmera S.O.D.A. (*Sensor Optimized for Drone Application* – Sensor Optimizado para Aplicação de Drones) especialmente desenvolvida para aplicação em drones, e que possibilita a precisão centimétrica.

Figura 03 – Aeronave eBee usada em voo



Fonte: O autor.

O par de receptores que serão utilizados no levantamento das coordenadas dos pontos de apoio em solo é do modelo de GNSS Promark 200 L1/L2 disponível no laboratório de topografia e geodésia (LTGEO) da universidade.

Figura 04 – Receptor GPS ProMark 200 L1/L2

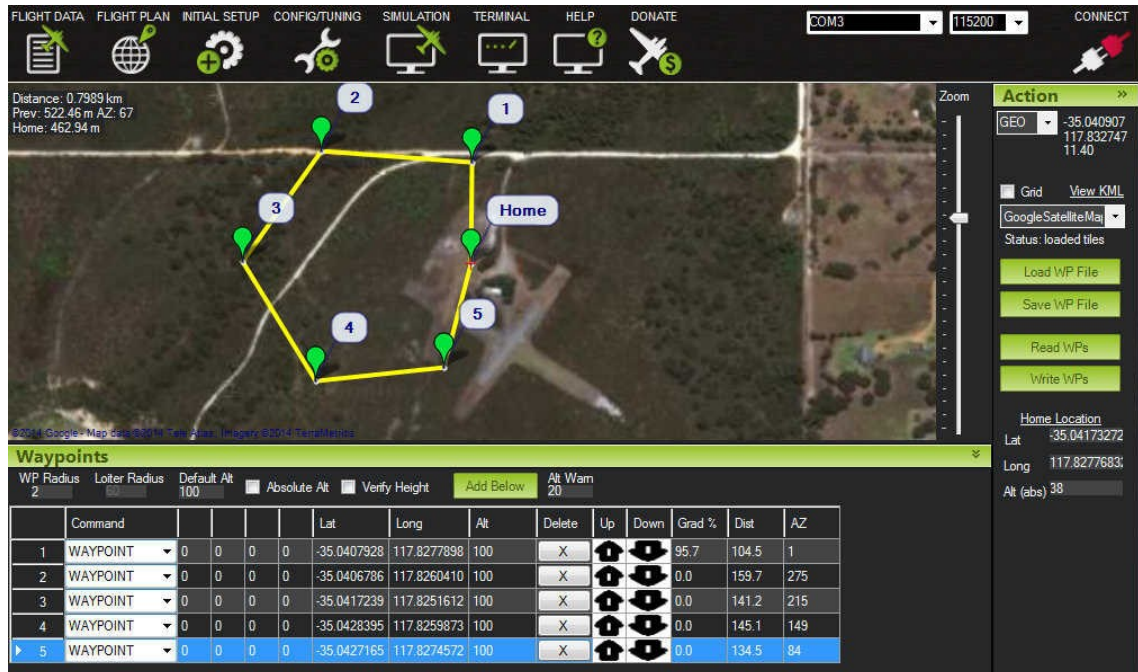


Fonte: Ltgeo UFU.

O *software* Mission Planner que foi usado na confecção do plano de voo, é de código aberto e gratuito, foi desenvolvido para funcionar como uma estação de controle do VANT

em solo, e é compatível apenas com o sistema operacional do *Windows*. Abaixo na figura 5, tela ilustrando a interface do *software* em questão.

Figura 05 – Ambiente computacional do *software*



Fonte: ArduPilot.

5.3 Métodos

5.3.1 Planejamento e Execução de Voo

Para levantar toda a cidade foram gastos dois dias para a execução do voo completo, para cada dia a estação de controle do ARP em solo onde aconteciam as decolagens e os pousos ficou localizada em dois pontos diferentes da cidade, no primeiro dia os voos partiram do Campus Araras enquanto que no segundo saíram de uma propriedade privada em outro lado da cidade, foram criados vários planos de voo com uma duração média de 30 minutos cada que era também a média de tempo que as baterias tinham de duração. A sobreposição lateral entre faixas e longitudinal entre fotos tiveram os valores de 60% e 30% respectivamente para reproduzirem o princípio da estereoscopia. Para a decolagem e pouso não houve o uso de catapulta ou paraquedas, o lançamento ocorreu manualmente contando com uma propulsão humana, e para pouso o próprio equipamento desacelerava quando muito próximo ao solo.

5.3.2 Coleta dos Pontos de Apoio

Para aumentar a acurácia do mapeamento aéreo, foram escolhidos pontos foto identificáveis no terreno, os chamados alvos naturais como as marcações horizontais de sinalização de trânsito foram utilizados para relacionar o sistema de coordenadas da imagem com o sistema de coordenadas do terreno e auxiliar na ortorretificação da imagem georreferenciada, os pontos foram levantados com o uso de um receptor Promark 200 no método de posicionamento relativo estático, não houve a necessidade de se fazer uso também de alvos artificiais.

Figura 06 – Levantamento dos pontos de controle



Fonte: O Autor

Os pontos de controle estão distribuídos segundo alguns critérios:

- Extremidades da área a ser mapeada.
- Locais onde há grande variação de altitude.

- De forma homogênea em toda área.
- Na sobreposição entre voos.
- Distribuir pontos de verificação.

Figura 07 – Distribuição dos pontos de controle



Fonte: O autor.

O método utilizado para levantar as coordenadas dos pontos de apoio em campo foi o Posicionamento Relativo Estático, que foi processado em relação a RBMC localizada no campus que conta como um receptor (base) que fica fixo rastreando somente um ponto, enquanto o receptor em campo (*hover*) percorreu os pontos de interesse dos quais se desejava determinar as coordenadas, todos os pontos foram rastreados já que não houve obstáculos que chegassem à causar a obstrução do sinal de satélites. Os dados brutos do receptor foram descarregados no servidor do laboratório da faculdade, posteriormente convertidos para arquivos RINEX e processados no GNSS Solutions.

5.3.3 Processamento das imagens

O processamento das imagens ocorreu no *software* Agisoft, a mosaicagem das fotos obedeceu uma sobreposição longitudinal entre fotos de 30%, e também uma sobreposição lateral entre faixas de 60%, para simular o princípio da estereoscopia e produzir um modelo 3D. As imagens dos voos que cobriam a área de interesse foram processadas no *software* Agisoft para gerar um ortomosaico com um nível baixo de qualidade, posteriormente as imagens foram processadas novamente porém desta vez usando os pontos de controle para chegar numa melhor precisão da imagem georrreferenciada.

Figura 08 – Distribuição dos pontos de controle



Fonte: O autor.

5.3.4 Análise do Padrão de Exatidão Cartográfica

O programa usado para avaliar a qualidade posicional do produto final foi o GeoPEC, o instalador deste programa pode ser baixado gratuitamente pela internet.

Para obter um arquivo de entrada para classificar a qualidade posicional da imagem quanto à PEC-PCD no programa, foram usados os pontos de controle coletados em campo e as coordenadas coletadas manualmente na imagem, como sendo as coordenadas de referência ficaram os pontos levantados em campo.

A partir do arquivo da figura 07 os dados foram introduzidos no *software* GeoPEC com a seguinte estrutura.

Tabela 02 – Arquivo de dados no programa

Ponto	Descrição	E(m) teste	N(m) teste	h(m) teste	E(m) referência	N(m) referência	h(m) referência
CP01	CP01	235637,929	7927835,838	881,5092	235638,008	7927835,8331	881,5092
CP02	CP02	235582,958	7927958,005	883,8927	235582,8448	7927957,9066	883,8927
CP03	CP03	235715,005	7927952,929	883,236	235715,0431	7927953,1228	883,236
CP04	CP04	235722,002	7928059,054	884,3887	235722,006	7928059,1309	884,3887
CP05	CP05	235745,064	7928149,043	884,0017	235745,1451	7928149,0659	884,0017
CP06	CP06	235576,083	7928113,25	885,6513	235575,9855	7928113,1068	885,6513
CP07	CP07	235335,557	7928059,048	885,4274	235335,4929	7928059,0919	885,4274
CP08	CP08	235574,008	7928270,695	884,3912	235574,0846	7928270,6427	884,3912
CP09	CP09	235429,8878	7928235,4819	887,2748	235429,9112	7928235,4944	887,2748
CP10	CP10	235267,815	7928198,69	889,3778	235267,5276	7928198,7555	889,3778
CP11	CP11	235402,488	7927924,597	882,6295	235402,5377	7927924,4324	882,6295

Fonte: O autor.

5.3.5 Vetorização de feições

A vetorização do limite do condomínio, quadras, lotes e área construída foi feita utilizando o *software* QuantumGis. Foram criados novos arquivos shapefiles distintos para receberem cada, um tipo de representação por vetores.

Figura 09 – Vetorização de área construída, lote e quadra



Fonte: O autor.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para realizar o voo sobre toda a malha urbana da cidade foram necessários dois dias de campo com o ARP eBee, foram desenvolvidos vários planos de voo para cobrir toda a área urbana do município. O autor do voo, Prof. Dr. Mario Luiz Lopes Reiss da UFRGS, juntamente com os Professores da UFU, Dr. Rodrigo B. A. Gallis e Dr. Ricardo Luis Barbosa, gentilmente cederam imagens de uma área do ortomosaico para reprocessamento e utilização neste TCC.

Figura 10 – Recobrimento fotogramétrico de Monte Carmelo – MG



Fonte: Mário Luiz Lopes Reiss e Laser – Laboratório de Sensoriamento Remoto e Fotogrametria

Abaixo, a imagem mostra a qualidade geométrica da ortofoto gerada e processada pelos autores citados acima. Nela é possível observar que a utilização das bases podem ser numa escala de representação consideravelmente grande.

Figura 11 – Campus da UFU na cidade



Fonte: O autor.

A figura 12 mostra destaca melhor a qualidade da imagem já que no meio urbano é possível observar os limites entre as propriedades, veículos nas vias de circulação, área foliar das árvores, faixas de trânsito, dentre outros detalhes pontuais.

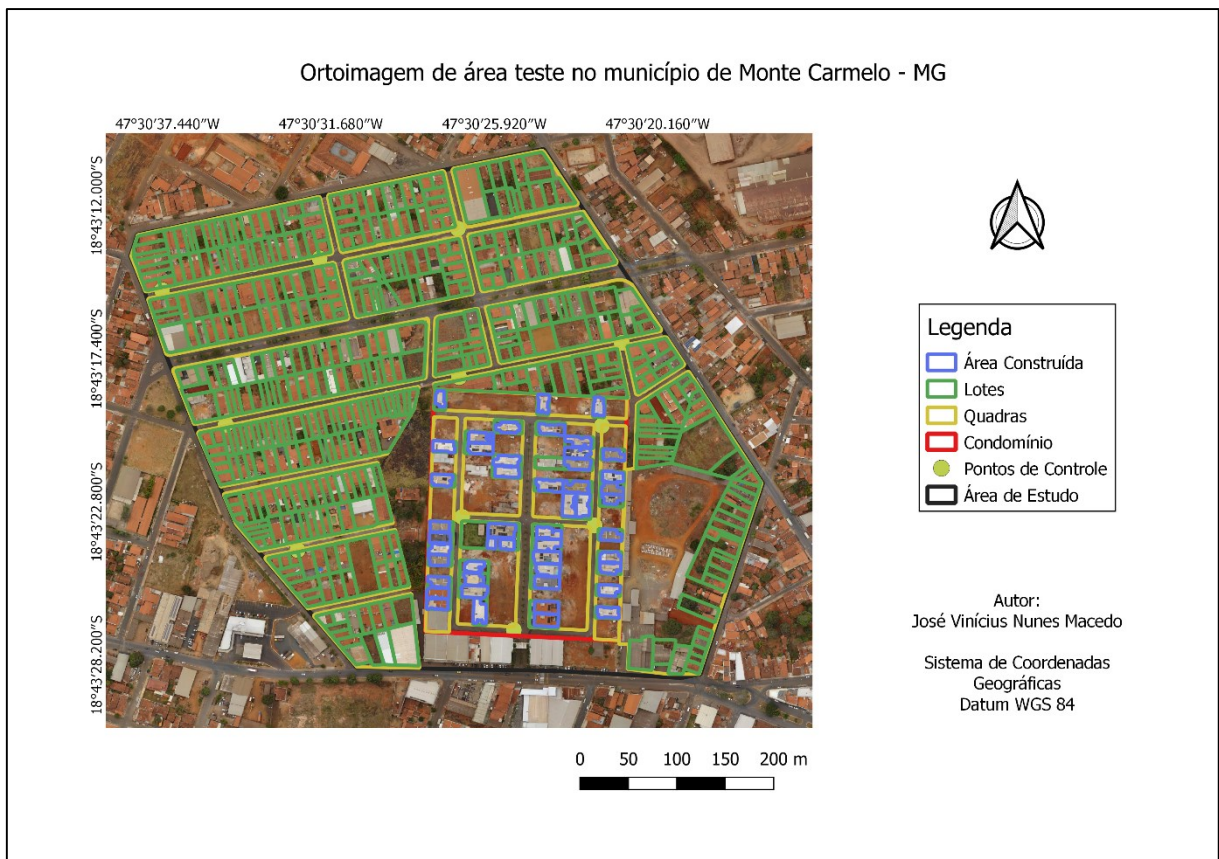
Figura 12 – Prefeitura na região central da cidade



Fonte: O autor.

Aplicando a metodologia descrita foi possível gerar um ortomosaico com partes das imagens coletadas de uma área da cidade com uma qualidade posicional e/ou com o tamanho de pixel compatível com a precisão necessária que atenda aos requisitos da PEC-PCD classe A, obteve-se assim uma boa resolução que visualmente possibilita o reconhecimento de feições urbanas importantes, e que conseqüentemente proporciona seu uso como uma ferramenta capaz de oferecer uma boa base cartográfica para o cadastro urbano. A classe A da PEC-PCD foi atingida numa escala de referência com o valor de 1/1000.

Figura 13 – Mapa final com as vetorizações



Fonte: O autor.

9 CONCLUSÕES

O avanço tecnológico das aeronaves remotamente pilotadas é de suma importância para atualizar o cadastro territorial no país, visto que o país tem uma larga extensão territorial, cidades de pequeno e médio porte possuem recursos escassos e o emprego de novas

ferramentas como os ARP's possibilita redução de custos na aquisição e atualização de bases cadastrais das cidades brasileiras de pequeno porte.

Imagens coletadas por esses equipamentos podem ser usada para a criação e elaboração de uma base cartográfica digital, o que é de grande valia para prefeituras municipais sendo usada no planejamento de ações pela cidade, auxiliando na tomada de decisões importantes para o meio urbano, como expansão de redes elétricas, de saneamento básico, zonas de expansão da cidade, tributação adequada das residências, entre outras aplicações.

É importante ressaltar que o resultado obtido neste trabalho, comprova a aplicabilidade do RPAS utilizado para uso na geração de produtos para Cadastro Técnico Multifinalitário desde que o produto gerado seja feito seguindo certos requisitos técnicos, sendo eles um vôo com planejamento específico onde características como altura de voo, número e distribuição de pontos de controle ao longo da área, resolução radiométrica da câmara, irão influir na qualidade do resultado final para melhor no processo de obtenção dos dados para gerar um produto suficientemente preciso para a aplicação no CTM.

REFERÊNCIAS

ANGELOV, P. **Sense and Avoid in UAS: Research and Applications**. John Wiley & Sons, 2012.

ANTUNES, Alzir Felipe Buffara; HOLLATZ, Roberta Cristina Vedor. **Cadastro Técnico Multifinalitário de baixo custo utilizando VANT (veículo aéreo não tripulado)**. João Pessoa-PB, abril de 2015.

BRAZ, Adalto Moreira et al. **Análise da aplicação de VANT na atualização de cadastro florestal com uso de pontos de controle**. João Pessoa-PB, 2015.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Ed. UERJ. Rio de Janeiro-RJ, 2007.

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

DA SILVA, Cristiano Alves et al. **Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC)**. Abril de 2015.

DRONENG. **5 critérios importantes na distribuição dos Pontos de Apoio**. 12 de julho de 2017. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/distribuicao-dos-pontos-em-campo/>> Acesso em: 29 de maio de 2019.

EIRIZ, George Koppe. **As possibilidades de utilização do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) no Exército Brasileiro**. Informativo Antiaéreo, Rio de Janeiro, mar. 2007.

FONSECA NETO, Francisco de Deus et al. **Avaliação da qualidade posicional de dados espaciais gerados por VANT utilizando feições pontuais e lineares para aplicações cadastrais**. Curitiba-PR, 2017. p 134-149.

LOCH, Carlos, **CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO E GESTÃO TERRITORIAL**. Florianópolis-SC, 2001.

LOCH, C.; ERBA, D. A. **Cadastro Técnico Multifinalitário Rural e Urbano**. Cleveland: Lincoln Institut of Land Policy, 2007.

MAFRA FILHO, F. H. M. G. et al. **As potencialidades e limitações do uso do VANT no monitoramento de faixas de domínio de rodovias federais**. Rio de Janeiro-RJ, novembro de 2017.

NICHETTI, Matheus Eduardo Heberle. **Análise geométrica de levantamento urbano utilizando imagens orbitais e veículo aéreo não tripulado**. Dois Vizinhos, 2016.

PEGORARO, Antoninho João. **Estudo do potencial de um veículo aéreo não tripulado/quadrotor, como plataforma na obtenção de dados cadastrais**. Antoninho João Pegoraro. Orientador, Jürgen Wilhelm Philips - Florianópolis, SC, 2013. 217 p.

PEGORARO, Antoninho João; GUBIANI, Juçara Salete; PHILIPS, Jurgem Wilhelm. **Veículo Aéreo Não Tripulado: Uma Ferramenta de Auxílio na Gestão Pública**. Santa Maria-RS, 2013.

PERIN, Gustavo et al. **Análise de Acurácia de Georreferenciamento de Mosaicos de Imagens Obtidas por RPA**. Ponta Grossa-PR,[201-].

SILVA NETO, Manoel. **Mission Planner: Se não conhece, você precisa conhecê-lo**. 11 de março de 2016. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/conheca-mission-planner/>> Acesso em: 20 de maio de 2019.

SILVA NETO, Manoel. **Modelos 3D: Como são gerados através dos drones?**. 6 de julho de 2017. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/modelos-3d-como-sao-gerados/>> Acesso em: 29 de maio de 2019.

SILVA NETO, Manoel. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com Drone?**. Disponível em: <<http://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar-no-mapeamento-aereo-com-drone-2/>> Acesso em: 29 de maio de 2019.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. Presidente Prudente: Edição do Autor, 2006.

WOLF, P. R.; DEWITT, A. B, **Elements of Photogrammetry with Applications in GIS**. 2000.

ZANETTI, Juliette, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2017. **Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT.** Orientador: Joel Gripp Junior. Coorientador: Afonso de Paula dos Santos.

APÊNDICE A

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Ortofoto
 Local: Monte Carmelo
 Data: 11/11/2019
 Responsável Técnico: José Vinícius

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
 Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Ortofoto", É **ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 11
 RMS das discrepâncias (m): 0,1485

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984

Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000
 Pontos de checagem inseridos: 11
 Pontos de checagem utilizados: 11

OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
 >> Valor limite - detecção: 0,9

ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0191	Média(N)= 0,0044	Média(ABS)= 0,1295
>> Desv-pad(E)= 0,1132	Desv-pad(N)= 0,105	Desv-pad(ABS)= 0,0761
>> RMS(E)= 0,1096	RMS(N)= 0,1002	RMS(ABS)= 0,1485

PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 690000
 :: 1ª ordem - R= 1,0646 Zcalc= 0,4101 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

:: 2ª ordem - R= 0,8085 Zcalc= -1,7496 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%
 :: 3ª ordem - R= 0,8532 Zcalc= -1,656 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão AGRUPADO - (NÃO é significativo estatisticamente) - 95%

TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(E)= 0,8399 Wcalc(N)= 0,967
 p-value(E)= 0,0315 p-value(N)= 0,8546
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra NÃO Normal

TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,28 EP= 0,17
 Resultado: Classe A

TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
 tcalc(E)= 0,5596 tcalc(N)= 0,139 ttab= 1,8125
 Resultado: Inconclusivo

>> Estatística Espacial
 Média Direcional (Azimute)= 247,7257 Variância Circular= 0,8934
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
CP01	-0,079	0,0049	0,0792
CP02	0,1132	0,0984	0,15
CP03	-0,0381	-0,1938	0,1975
CP04	-0,004	-0,0769	0,077
CP05	-0,0811	-0,0229	0,0843
CP06	0,0975	0,1432	0,1732
CP07	0,0641	-0,0439	0,0777
CP08	-0,0766	0,0523	0,0928
CP09	-0,0234	-0,0125	0,0265
CP10	0,2874	-0,0655	0,2948
CP11	-0,0497	0,1646	0,1719
