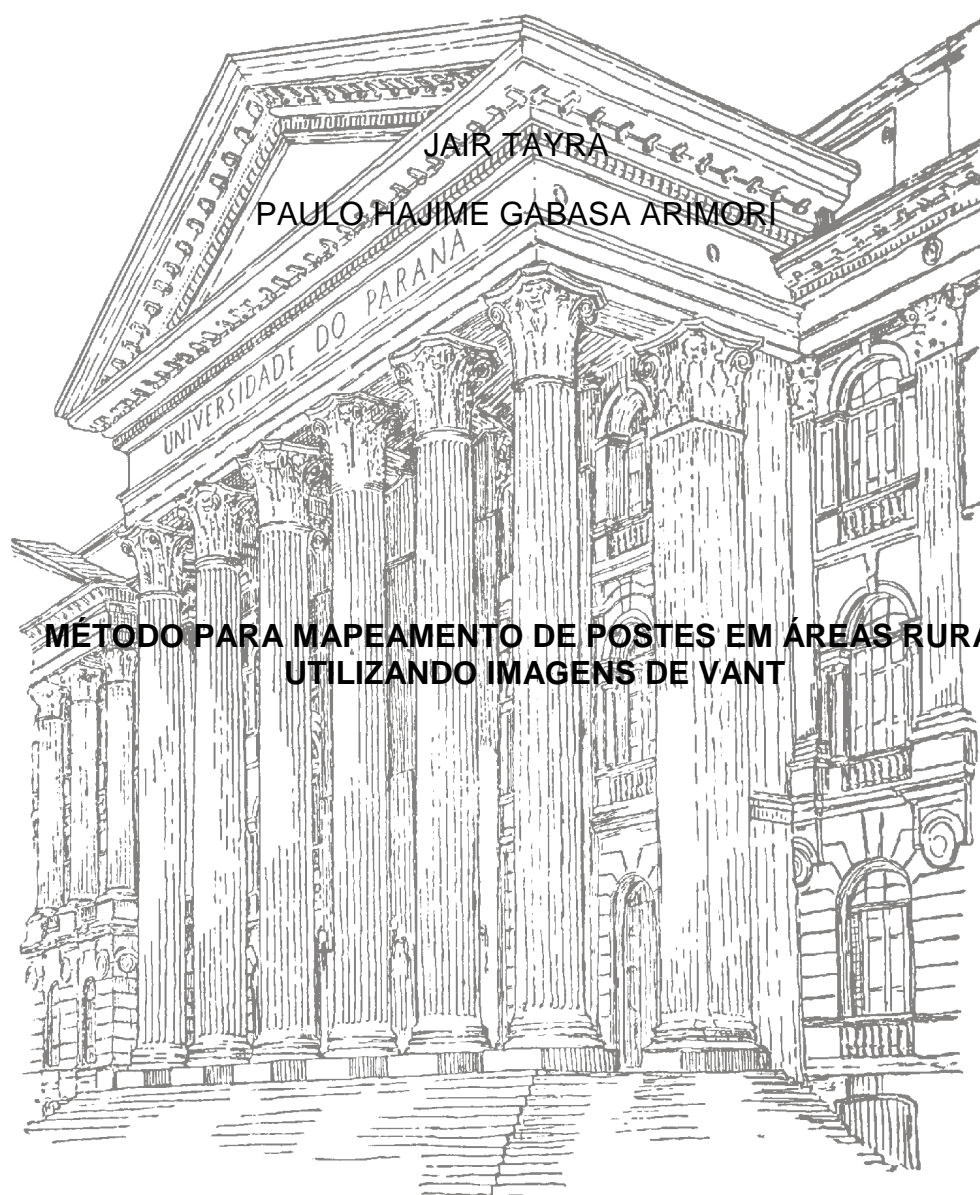


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA
DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA
ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E DE AGRIMENSURA



**MÉTODO PARA MAPEAMENTO DE POSTES EM ÁREAS RURAIS
UTILIZANDO IMAGENS DE VANT**

CURITIBA

2016



JAIR TAYRA

PAULO HAJIME GABASA ARIMORI

MÉTODO PARA MAPEAMENTO DE POSTES EM ÁREAS RURAIS UTILIZANDO IMAGENS DE VANT

Trabalho de Conclusão do Curso de
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura,
Departamento de Geomática, Setor
Ciências da Terra, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Jorge Centeno.

CURITIBA

2016

Aos nossos pais, familiares,
namoradas e amigos, que foram
grandes incentivadores e que
sempre apoiaram e acreditaram nos
nossos sonhos.

AGRADECIMENTOS

A nosso orientador Prof. Dr. Jorge Centeno pela amizade e pelo acompanhamento durante este semestre, sempre esteve presente orientando e prestando auxílio nos momentos mais difíceis.

Agradecimentos especiais aos pais Clelia Ikehara Tayra e Inacio Kinssei Tayra, Mariluz Gabasa e Sérgio Massamitsu Arimori, aos irmãos Julio Inacio Tayra, Paola Ayume Gabasa Arimori, as namoradas Mariana Freitas Nogueira e Ana Paula Ramos da Silva, aos familiares e aos amigos que sempre apoiaram e incentivam durante toda fase acadêmica.

Ao Instituto Tecnológico SIMEPAR, que disponibilizou o VANT para a realização do presente trabalho.

Agradecemos ao Pesquisador José Eduardo Gonçalves do Instituto Tecnológico SIMEPAR pela paciência, pela execução do voo e pelo apoio técnico fornecido.

RESUMO

Quando se fala em uma cidade desorganizada, é comum que se pense em um planejamento como solução. Os produtos cartográficos são ferramentas fundamentais para a realização de um planejamento urbano. Entretanto, assim como as cidades passam por um processo de evolução, os documentos cartográficos também devem passar por este procedimento, ou seja, precisam ser atualizados.

Novas tecnologias, como a utilização de imagens de satélites orbitais ou de fotografias aéreas, foram desenvolvidas para atender a demanda por mais dados, com maior qualidade, atualizações mais frequentes, mais seguros, etc.

Outra tecnologia de grande potencial é o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para imageamento de pequenas áreas com altíssima resolução espacial, visando assim, maior facilidade e agilidade na coleta e no processamento dos dados.

O presente trabalho tem como objetivo desenvolver uma metodologia, de modo a efetuar um levantamento cadastral dos postes localizados em um determinado trecho na beira da estrada PR-281 no município de Tijucas do Sul - PR, a partir de uma nuvem de pontos gerada por imagens aéreas de um VANT.

Palavras Chaves: VANT, Levantamento Cadastral, Postes.

ABSTRACT

When talking about a desorganized city, it is common to think of a planning as a solution. Mapping products are fundamental tools for urban planning. However, just as the cities go through a process of evolution, the cartographic documents must also go through this procedure, that is, they also need to be updated.

New Technologies, such as the use of orbital satellite images or aerial photographs, have been developed to attend the demand for more data, higher quality, more frequent updates, more security, etc.

Another technology of great potential is the use of Unmanned Aerial Vehicles (UAV), for imaging small areas with very high spatial resolution, aiming bigger facilities and more agility when collecting and processing the data.

The present work aims to develop a methodology, in order to carry a cadastral survey of the public poles, located in a certain stretch along the PR-281 highway, in the city of Tijucas do Sul – PR, from a cloud of dots, generated by aerial photos of a UAV.

Key words: UAV, cadastral survey, poles.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - SISTEMA REFERENCIAL DIGITAL	16
FIGURA 2 - SISTEMA REFERENCIAL COM ORIGEM NO CENTRO DA IMAGEM.....	17
FIGURA 3 - CONDIÇÃO DE COLINEARIDADE	19
FIGURA 4 - ÁREA DE ESTUDO - TIJUCAS DO SUL.....	26
FIGURA 5 - RECEPTOR TOPCON GPS HIPER LITE - RTK	27
FIGURA 6 - AEROMODELO TIPO ASA VANT.....	28
FIGURA 7 - ELETRÔNICA EMBARCADA	29
FIGURA 8- IMPLANTAÇÃO DA BASE	31
FIGURA 9 - PRECISÃO ESPERADA PARA UM LEVANTAMENTO ESTÁTICO - PPP	32
FIGURA 10 - PLANO DE VOO.....	35
FIGURA 11 - MATERIALIZAÇÃO DO PONTO DE APOIO	35
FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO.....	36
FIGURA 13 - COLETA DO PONTO DE APOIO.....	37
FIGURA 14 - ESTAÇÃO DE CONTROLE.....	38
FIGURA 15 - DECOLAGEM DO VANT	39
FIGURA 16 - NUVEM DE PONTOS.....	41
FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO.....	42
FIGURA 18 - NUVEM DE PONTOS DE UM POSTE	43
FIGURA 19 - NUVEM DE PONTOS DE UM POSTE	44
FIGURA 20 - OPERADORES MORFOLÓGICOS - (A) ORIGINAL (B) DILATAÇÃO (C) EROSÃO.....	45
FIGURA 21 - LEVANTAMENTO DOS POSTES	48
FIGURA 22 - RELATÓRIO IBGE-PPP	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA.....	24
TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO VANT	30
TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DA CÂMERA.....	30
TABELA 4 - COORDENADAS SIRGAS2000 DA BASE	32
TABELA 5 - DESCRIÇÃO DO PLANEJAMENTO DE VOO.....	34
TABELA 6 - COORDENADAS SIRGAS2000 - PONTOS DE APOIO	37
TABELA 7 - PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA	40
TABELA 8 - CONFIGURAÇÃO - PIX4D.....	41
TABELA 9 - POSTES EXTRAÍDOS	47
TABELA 10 - COORDENADAS E DESVIOS PADRÕES DA BASE	49
TABELA 11 - COORDENADAS E DESVIOS PADRÕES DOS PONTOS DE APOIO.....	50
TABELA 12 - PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA.....	52
TABELA 13 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS - CALCULADAS	52
TABELA 14 - DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS - CALCULADAS.....	53
TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE POSTE	54
TABELA 16 – DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICS – MANUAL	54
TABELA 17 – DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS – MANUAL.....	55
TABELA 18 - DIFERENÇA ENTRE AS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS	56
TABELA 19 - DIFERENÇA ENTRE AS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS.....	57

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 – OBJETIVOS	12
1.1.1 – OBJETIVO GERAL	12
1.1.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE – GNSS.....	13
2.2 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO.....	14
2.2.1 SERVIÇO IBGE – PPP.....	14
2.3 MÉTODO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL	14
2.4 FOTOGRAMETRIA.....	15
2.5 SISTEMA REFERENCIAL DIGITAL	15
2.6 SISTEMA REFERENCIAL COM ORIGEM NO CENTRO DA IMAGEM..	16
2.7 SISTEMA REFERENCIAL FOTOGRAMÉTRICO	17
2.8 PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO INTERIOR	17
2.9 PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR	18
2.10 EQUAÇÕES DE COLINEARIDADE.....	18
2.11 FOTOTRIANGULAÇÃO	19
2.12 TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE 3D.....	20
2.13 CALIBRAÇÃO DE CÂMERAS IN SITU.....	20
2.14 SCALE INVARIANT FEATURE TRANSFORM – SIFT	21
2.15 STRUCTURE FROM MOTION – SFM.....	22
2.16 EXTRAÇÃO DE OBJETOS UTILIZANDO SENSOR ATIVO LIDAR	23
2.17 ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	23
2.18 NORMAS TÉCNICAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE CARTAS.....	24
4 METODOLOGIA.....	25

4.1 ÁREA DE ESTUDO	25
4.2 MATERIAIS.....	26
4.2.1 SOFTWARES	26
4.2.2 RECEPTOR TOPCON GPS HIPER LITE – RTK.....	27
4.2.3 VANT E CÂMERA.....	28
4.3 IMPLANTAÇÃO DA BASE DO PROJETO.....	30
4.4 PLANO DE VOO	32
4.5 LEVANTAMENTO DOS PONTOS DE APOIO DE CAMPO.....	35
4.6 EXECUÇÃO DO VOO.....	38
4.7 GERAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS	39
4.8 EXTRAÇÃO DOS POSTES	41
4.8.1. GRADE DE ACÚMULO	42
4.8.2. CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS POSTES	44
4.8.3. CLASSIFICAÇÃO	46
4.9 CONTROLE DE QUALIDADE GEOMÉTRICA.....	47
5 RESULTADOS E ANÁLISES	49
5.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO.....	49
5.2 PONTOS DE APOIO DE CAMPO.....	50
5.3 CONTROLE DE QUALIDADE.....	51
5.3.1 QUALIDADE DA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DOS POSTES.....	52
5.3.2 QUALIDADE DA EXTRAÇÃO MANUAL DOS POSTES	54
5.3.3 COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POSTES.....	55
6 CONCLUSÕES	58
7 RECOMENDAÇÕES.....	59
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
9 ANEXOS	63

1 INTRODUÇÃO

É inviável realizar um planejamento urbano sem uma base de dados fidedigna. Por isto, os produtos cartográficos são fundamentais para a realização do planejamento e gestão do espaço físico. Entretanto, assim como os elementos da paisagem decorrentes da ocupação humana passam por um processo de evolução, produtos cartográficos também devem ser atualizados.

Produtos cartográficos em diferentes escalas podem ser derivados de diferentes tipos de levantamentos, como topografia ou fotogrametria. As ferramentas para a coleta e processamento de dados espaciais estão constantemente sendo atualizadas. Como exemplos podem ser citados o uso da varredura a Laser, o uso de veículos aéreos não tripulados e processamento digital de nuvens de pontos 3D. A utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para imageamento de pequenas áreas com altíssima resolução espacial é uma tecnologia ainda em desenvolvimento, mas de grande potencial, que visa atender a demanda por mais dados, com maior qualidade e segurança para a atualização de produtos cartográficos.

Esse trabalho visa apresentar uma metodologia, a partir de uma nuvem de pontos calculada a partir de um conjunto de imagens obtidas desde um VANT, para o levantamento cadastral de postes.

1.1 – OBJETIVOS

1.1.1 – OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar uma metodologia para cadastro de postes a partir de fotografias aéreas obtidas por VANT (*Veículo Aéreo não Tripulado*).

1.1.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar a precisão das coordenadas dos postes geradas a partir do desenvolvimento da metodologia empregada;
- Verificar a viabilidade do uso de VANT para identificação de postes.
- Analisar e avaliar a eficácia na obtenção dos postes através das técnicas de processamento digital de imagens;
- Avaliar em quais classes o produto gerado atenderia, em um possível levantamento cadastral, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC);

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A seguir são apresentados, brevemente, os conceitos fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Os temas principais se referem a conceitos de posicionamento por satélite para coleta de dados de referência em campo e fotogrametria, o tema central da pesquisa.

2.1 SISTEMA DE NAVEGAÇÃO GLOBAL POR SATÉLITE – GNSS

O sistema de navegação global por satélite (GNSS) surgiu da ideia de combinar as constelações de satélites artificiais GPS e GLONASS. O sistema de posicionamento por satélite, ou NAVSTAR-GPS (*Navigation System with Time And Ranging - Global Positioning System*) como é conhecido atualmente, é um sistema de radio navegação utilizado para o cálculo da posição baseado numa constelação de satélites artificiais, desenvolvido pelo *Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América* – DOD. Foi desenvolvido no intuito de atender aos interesses da força militar americana. Entretanto, por ser um dos sistemas mais precisos na determinação da posição tridimensional, na navegação e em informações sobre o tempo, estendeu-se a setores não militares (KRUEGER, 2015).

O GLONASS (*Global Navigation Satellite System*) é um Sistema de radio navegação desenvolvido no ano de 1970 pela União Soviética, com design similar ao GPS apresentando características semelhantes, porém, com prática diferente. Assim, tanto o GPS como o seu similar GLONASS oferecem uma poderosa ferramenta para a determinação de coordenadas de pontos da superfície terrestre (KRUEGER, 2015).

2.2 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

O Posicionamento por Ponto Preciso é um método que permite o pós-processamento das observações, utilizando as efemérides precisas e as correções para os relógios dos satélites produzidos pelo *International GPS Geodynamics Service* (IGS), ambos com precisão de poucos centímetros. Estes produtos podem ser utilizados no processamento de observações de pseudo-distâncias, fase da onda portadora, ou ambas, as quais podem ter sido coletadas por receptores de uma ou duas frequências. Este método vem sendo muito utilizado nos últimos anos, devido ao surgimento de serviços gratuitos e de processamento online. No Brasil, o *IBGE* oferece este serviço de forma gratuita, e este faz o uso do aplicativo de processamento GPS-PPP desenvolvido pela *NRCan (Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canadá)* (MONICO, 2000).

2.2.1 SERVIÇO IBGE – PPP

O IBGE-PPP (Posicionamento Por Ponto Preciso ou Posicionamento Absoluto Preciso) é um serviço online para o pós-processamento de dados GPS (Global Positioning System). Ele permite, aos usuários de GPS, obterem coordenadas de boa precisão no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS2000) e no International Terrestrial Reference Frame (ITRF). (FONTE: IBGE, 2016).

2.3 MÉTODO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL

O método de posicionamento diferencial consiste no posicionamento de uma estação móvel através das correções geradas por uma estação de referência. Essas correções são enviadas em tempo real por meio de um sistema de comunicação (rádio de transmissão, linha telefônica, ou satélites de

comunicação) e dentro de um formato padrão, definido pelo *Radio Technical Committee for Maritime Service* (RTCM) (KRUEGER, 2015).

A técnica de posicionamento RTK é fundamentada na solução da portadora dos sinais transmitidos pelos sistemas globais de navegação por satélites GPS e GLONASS. A estação de referência (BASE) fornece correções para as estações móveis (ROVER). A estação base retransmite a fase da portadora medida por ela, e as estações móveis confrontam suas próprias medidas da fase com a recebida da estação de referência. Assim, as posições relativas das estações móveis podem ser calculadas (MundoGEO, 2016).

2.4 FOTOGRAMETRIA

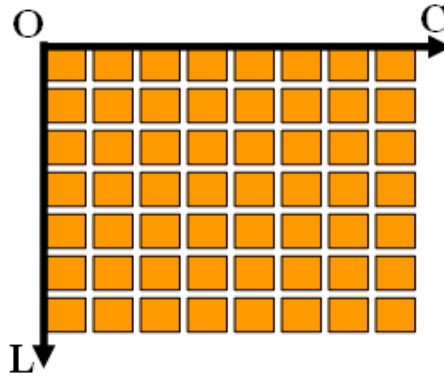
A definição tradicional de fotogrametria é da década de 60 e nela a fotogrametria é definida com “ciência e arte de obter medidas confiáveis por meio de fotografias” (American Society of Photogrammetry - ASP). Em 1979, com a evolução dos sensores, a ASP define a fotogrametria como: “a arte, ciência e tecnologia de obtenção de informação confiável sobre objetos físicos e o meio ambiente através de processos de gravação, medição e interpretação de imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética radiante e outras fontes”. Trecho citado por TOMMASELLI (2009).

2.5 SISTEMA REFERENCIAL DIGITAL

Embora classicamente a fotogrametria tenha sido analógica, hoje a maior parte das imagens usadas são digitais e o uso de processamento digital tornou-se a base da fotogrametria. Em processamento digital, as imagens podem ser representadas em forma matricial, onde cada pixel pode ser representado por uma coluna e uma linha (C,L) e associado a um valor de cinza para determinada banda. A origem do sistema referencial digital parte da extremidade superior esquerda da imagem. O valor da coluna do pixel aumenta

da esquerda para a direita. Já o valor da linha de um pixel aumenta de cima para baixo (SANTOS, 2013).

FIGURA 1 - SISTEMA REFERENCIAL DIGITAL



FONTE: SANTOS (2013).

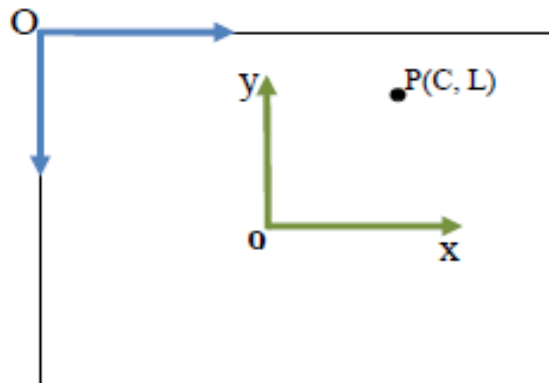
2.6 SISTEMA REFERENCIAL COM ORIGEM NO CENTRO DA IMAGEM

Uma imagem digital tem sua origem no canto superior esquerdo, o primeiro pixel. No sistema referencial com origem no centro da imagem, como o próprio nome diz, a origem se encontra no centro da imagem. Para se chegar a este referencial partindo do sistema referencial digital é preciso aplicar uma transformação geométrica de translação. Segundo SANTOS (2013), o modelo de transformação é:

$$x = Tp_x * (Coluna - \left(\frac{Total\ de\ Colunas - 1}{2}\right));$$

$$y = -Tp_y * (Linha - \left(\frac{Total\ de\ Linhas - 1}{2}\right));$$

FIGURA 2 - SISTEMA REFERENCIAL COM ORIGEM NO CENTRO DA IMAGEM



FONTE: SANTOS (2013).

2.7 SISTEMA REFERENCIAL FOTOGRAMÉTRICO

O sistema referencial fotogramétrico é um sistema cartesiano tridimensional, cuja orientação dos eixos CPx e CPy é paralela aos eixos do referencial com origem no centro da imagem. A origem do sistema coincide com o centro de perspectiva. Para se chegar ao sistema referencial fotogramétrico, partindo do referencial com origem no centro da imagem, é preciso aplicar duas translações, uma no eixo x e a outra no eixo y (SANTOS, 2013).

2.8 PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO INTERIOR

Segundo ANDRADE (2003) a orientação interior é o procedimento de recuperação da posição da fotografia em relação à câmera, permitindo a reconstrução do feixe perspectivo que gera as fotografias. O conjunto de parâmetros de orientação interior de uma câmera são os seguintes: distância focal (f), as coordenadas do ponto principal (x_o e y_o), os coeficientes de distorção radial simétrica (k_1 , k_2 e k_3) e os coeficientes de distorção descentrada (P_1 e P_2).

Segundo ANDRADE (2003): "A distorção radial simétrica pode ser encarada como sendo a parcela não desejável da refração sofrida por um raio de luz ao atravessar uma lente."

CONRADY (1919) aponta que "A distorção descentrada é gerada pela impossibilidade do fabricante em alinhar perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõe uma objetiva. Essas distorções resultam no deslocamento da imagem e é composta pelas componentes tangencial e radial simétrica."

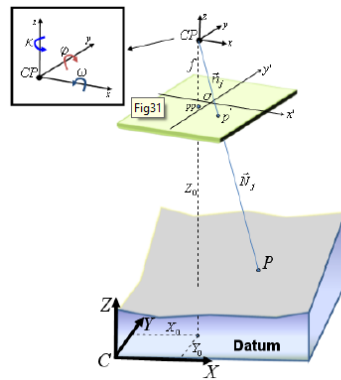
2.9 PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR

A orientação externa, segundo ANDRADE (2003), permite a recuperação da posição e atitude (rotações) de cada fotografia segundo um determinado referencial – geralmente aquele no qual se pretende realizar o trabalho fotogramétrico. Os parâmetros que determinam a recuperação da posição são as coordenadas X_0 , Y_0 e Z_0 do ponto onde foi tomada a fotografia, junto aos ângulos de Euler ω , ϕ e κ .

2.10 EQUAÇÕES DE COLINEARIDADE

As equações de colinearidade, ou também denominadas de equações projetivas, são consideradas o principal modelo matemático utilizado nos procedimentos fotogramétricos. A fundamentação do modelo matemático pode ser descrita por uma linha reta partindo do centro de projeção e projetando as coordenadas fotográficas de um ponto (espaço imagem) e as coordenadas tridimensionais no terreno (espaço objeto) (ANDRADE, 2003).

FIGURA 3 - CONDIÇÃO DE COLINEARIDADE



FONTE: SANTOS (2013).

Sabendo que o centro perspectivo da câmera (CP), um ponto qualquer no plano fotográfico (p') e seu correspondente no terreno (P) são colineares a relação funcional entre os mesmos é feita ao aplicar uma transformação que envolve uma sequência de três rotações, três translações e um fator de escala. Este último é removido por meio de manipulações algébricas (SANTOS, 2013). Assim, as equações de colinearidade são escritas a seguir.

$$\Delta x = -f * \frac{M_{11} * (X - X_0) + M_{12} * (Y - Y_0) + M_{13} * (Z - Z_0)}{M_{31} * (X - X_0) + M_{32} * (Y - Y_0) + M_{33} * (Z - Z_0)} = -f * \frac{Q_X}{Q_Z}$$

$$\Delta y = -f * \frac{M_{21} * (X - X_0) + M_{22} * (Y - Y_0) + M_{23} * (Z - Z_0)}{M_{31} * (X - X_0) + M_{32} * (Y - Y_0) + M_{33} * (Z - Z_0)} = -f * \frac{Q_Y}{Q_Z}$$

2.11 FOTOTRIANGULAÇÃO

O Conceito de fototriangulação, segundo LUGNANI (1987), é um método capaz de determinar as coordenadas de pontos no espaço objeto por meio de relações geométricas de fotografias tomadas de forma consecutivas somadas ao apoio de campo e de um conjunto de parâmetros de orientação do sensor.

A fototriangulação tem por objetivo fornecer as coordenadas precisas para a orientação absoluta dos modelos fotogramétricos. São utilizados pontos

de ligação nas regiões estabelecidas por Von Grüber, região de sobreposição entre fotografias, além dos apoios de campo para a determinação de um referencial (ANDRADE, 2003).

2.12 TRANSFORMAÇÃO DE SIMILARIDADE 3D

As transformações geométricas 3D são muito utilizadas para a manipulação de um objeto ou uma feição, ou seja, através delas é possível mover, rotacionar ou alterar a escala. São empregadas em situações onde é necessária a transformação de pontos contidos em sistemas referenciais tridimensionais, tendo como exemplo o registro entre nuvem de pontos 3D derivada de estéreo par (SANTOS, 2013).

A transformação de similaridade 3D, ou também denominada de transformação de corpo rígido 3D, possui 7 (sete) parâmetros, sendo um parâmetro de escala (λ), três parâmetros de rotação (κ , ϕ , ω) e três parâmetros de translação (dX , dY , dZ) (SANTOS, 2013), e pode ser escrita como:

$$\begin{bmatrix} X' \\ Y' \\ Z' \end{bmatrix} = M(\kappa, \phi, \omega) * \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

2.13 CALIBRAÇÃO DE CÂMERAS IN SITU

EISENHART (1963) define o conceito de calibração de instrumentos e padrões envolvendo formas apuradas de mensuração. As medições deverão ser completamente definidas e deveram ter um estado de controle estatístico, o método de calibração deve ser o mais próximo possível das condições normais de uso do instrumento.

Os métodos de campo para calibrar câmeras oferecem soluções mais completas, pois permitem que todos os parâmetros possam ser recuperados no

processo de calibração, além do fato de que permite que haja uma grande superabundância de observações, o que torna possível um controle estatístico rigoroso no processo (BROWN, 1977).

2.14 SCALE INVARIANT FEATURE TRANSFORM – SIFT

Algoritmo utilizado para calcular as correspondências entre os pontos homólogos de duas ou mais imagens, sendo invariante a escala e rotação da imagem e parcialmente invariante à mudança na iluminação. Por possuir essas propriedades, o torna adequado para combinar imagens diferentes de um objeto ou região (LOWE, 2004).

Os principais estágios de execução deste algoritmo são:

- i. Detecção de Escalas: Neste primeiro estágio de computação, são pesquisadas todas as escalas e locais da imagem. A partir da diferença Gaussiana, é possível identificar os pontos de interesse que são invariantes à escala e orientação.
- ii. Localizador de Pontos: Os Pontos de interesse são selecionados com base em medidas de sua estabilidade, através de um modelo detalhado que é adequado para a determinação de sua localização e escala.
- iii. Atribuição da Orientação: Uma ou mais orientações são atribuídas a cada localização de Pontos interesse, com base nas direções do gradiente da imagem.
- iv. Descritor de Pontos: Os gradientes de imagem são medidos na escala selecionados na região ao redor de cada ponto de interesse. Então são transformados em uma representação que permite níveis de distorção de forma e mudança na iluminação.

A aplicação desta técnica é comum nos softwares de fotogrametria atuais, que utilizam a abordagem de *Structure from Motion* (SFM) como Visual SFM, Pix4D e Photoscan, que utilizam desses recursos para a coleta de pontos fotogramétricos utilizados nas Orientações Exterior e interior das imagens, no

processo de calibração da câmera, entre outros processos. Pois um aspecto dessa abordagem é a geração de uma grande quantidade de pontos. O exemplo, uma imagem comum de 500 x 500 pixels dará origem a cerca de 2000 pontos com características estáveis (LOWE, 2004).

2.15 STRUCTURE FROM MOTION – SFM

Este método é utilizado para reconstruir tridimensionalmente uma cena ou objeto, assim como a posição da câmera no momento da tomada da fotografia, a partir de múltiplas imagens, sem precisar de informações de correspondência das mesmas.

Diferente da fotogrametria convencional, onde primeiro são inseridos os pontos de apoio e depois são resolvidas as equações de colinearidade, o fluxo de trabalho com SfM inicia-se com as equações de colinearidade sempre resolvidas antes da introdução das coordenadas dos pontos de apoio (FONSTAD, 2012)

Com a implementação do algoritmo SIFT no método de SfM, o resultado é um grande número de pontos homólogos, identificados durante a fase de correspondência automatizada de imagens, resolvendo as equações de colinearidade em um sistema de referência arbitrário. Devido ao grande número de pontos homólogos em todas as imagens, o método permite realizar uma completa calibração de câmera, de forma automática.

Dentro do fluxo de trabalho do SFM, o próximo passo é o registro da nuvem de pontos X, Y e Z gerada no referencial arbitrário para um referencial terrestre ou local. Nesta etapa, deverão ser introduzidas as coordenadas dos pontos de apoio e/ou as posições de câmera para transformar e registrar a nuvem de pontos no referencial desejado. A transformação utilizada é a de Similaridade, que possui sete parâmetros sendo um parâmetro de escala, três parâmetros de translação e três parâmetros de rotação. Esta transformação produz uma nuvem de pontos adequada para aplicações de mapeamento, por ser uma transformação linear e rígida (FONSTAD, 2012).

2.16 EXTRAÇÃO DE OBJETOS UTILIZANDO SENSOR ATIVO LIDAR

A detecção e reconhecimento de objetos a partir de dados LIDAR tem destaque em pesquisas nos campos de Fotogrametria e visão computacional. Ao contrário dos dados coletados em ambientes internos e bem controlados, as nuvens de pontos de Ambientes externos são mais complicadas devido à complexidade do mundo real. Programas e algoritmos de detecção e reconstrução de dados terão problemas no caso de um objeto com rigorosas oclusões (ZHENGA, 2016).

Segundo Zhenga et al (2016), pode-se extrair um determinado objeto através da medida de concentração dos pontos em um espaço local.

2.17 ESTATÍSTICA DESCRITIVA

A média aritmética indica o valor em torno do qual há um determinado equilíbrio da distribuição dos dados, podendo ser calculada apenas para variáveis quantitativas, ou seja, apenas aquelas observações relacionadas com valores numéricos. A média também é chamada de centro de gravidade. Entretanto, se há um erro de anotação entre as k amostras, a média terá um acréscimo de k/n unidades, sendo este acréscimo proporcional à quantidade de observações realizadas (CORRÊA, J. M. (2009)).

O desvio padrão é uma medida obtida a partir da raiz quadrada da variância, sendo assim, uma medida comum de dispersão, mostrando o quanto de variação existe em relação à um determinado valor esperado. Um valor baixo do desvio padrão indica que os dados estão próximos da média. Já um valor alto indica que os dados estão espalhados ao longo dos valores (CORRÊA, J. M. (2009)).

2.18 NORMAS TÉCNICAS PARA CLASSIFICAÇÃO DE CARTAS

O Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) foi adotado após a instituição do Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional a serem observadas por todas as entidades públicas e privadas produtoras e usuárias de serviços cartográficos, se destinando a estabelecer padrões mínimos a serem adotados no desenvolvimento das atividades cartográficas (BRASIL, 1984).

Na Sessão II do Capítulo II do decreto Nº 89.817, são definidas as classes de classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica, sendo elas classificadas na Classes A, B e C, segundo sua exatidão. Na Tabela 01 estão descritos os critérios de classificação das Classes abrangidas pelo PEC segundo a sua exatidão.

TABELA 1 - PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

ESCALA	CLASSE	PEC - PLANIMÉTRICO		PEC - ALTIMÉTRICO	
		CARTA (mm)	TERRENO (m)	CARTA (mm)	TERRENO (m)
1:1000	A	0,5	0,5	1*(1/2)	0,5
	B	0,8	0,8	1*(3/5)	0,6
	C	1,0	1,0	1*(3/4)	0,8
1:2000	A	0,5	1,0	1*(1/2)	0,5
	B	0,8	1,6	1*(3/5)	0,6
	C	1,0	2,0	1*(3/4)	0,8
1:5000	A	0,5	2,5	1*(1/2)	1,0
	B	0,8	4,0	1*(3/5)	1,2
	C	1,0	5,0	1*(3/4)	1,5

FONTE: BRASIL (1984).

3 METODOLOGIA

A seguir, são descritos os passos e etapas da metodologia do projeto. Eles incluem:

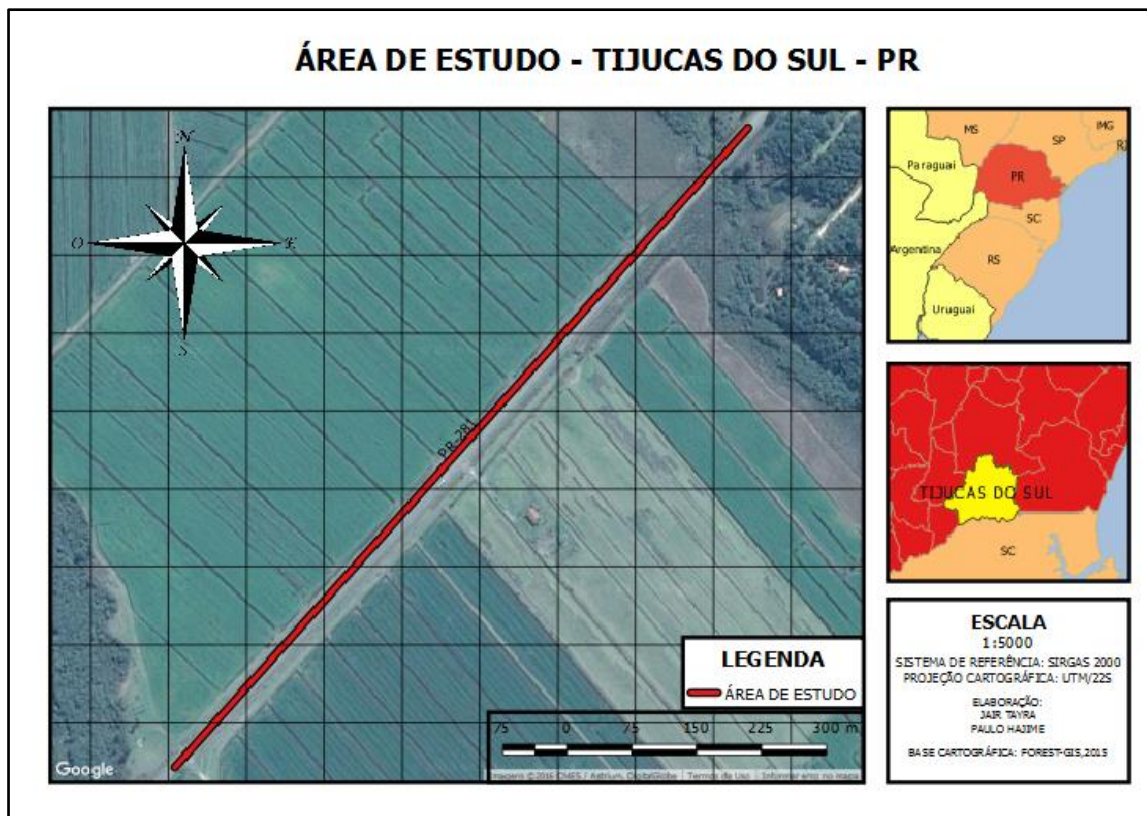
- Área de estudo;
- Materiais;
- A coleta de dados de referência, pela implantação de uma base de dados tridimensionais na região de estudo;
- O planejamento de voo;
- A coleta de pontos de apoio;
- A execução do voo;
- A geração da nuvem de pontos;
- A extração dos postes a partir da nuvem;
- A verificação da qualidade do produto;

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Com base na literatura de pesquisas e projetos realizados com VANT, verificou-se que o lugar ideal para a realização do presente trabalho deveria ser uma área rural e com baixa circulação de pessoas, visto que ainda são necessários estudos sobre a segurança para a integração desta tecnologia ao espaço aéreo. Desta forma, foi definido que o local de estudo seria o trecho inicial da rodovia PR-281, localizada no município de Tijucas do Sul – PR, uma área rural muito utilizada pelo Instituto Tecnológico SIMEPAR para teste de aeronaves de pequeno porte e VANT's.

A área de estudo encontra-se localizada no município de Tijucas do Sul – Paraná, mais precisamente em um trecho da rodovia PR-281. Trata-se de uma região Rural, área ideal para a realização do presente estudo, visto que ainda são necessários estudos sobre segurança para a integração de VANT ao espaço aéreo.

FIGURA 4 - ÁREA DE ESTUDO - TIJUCAS DO SUL



FONTE: AUTORES (2016).

3.2 MATERIAIS

Para o desenvolvimento da metodologia proposta, foram utilizados softwares, um par de receptores GNSS, VANT e uma câmera de pequeno porte.

3.2.1 SOFTWARES

O desenvolvimento do presente trabalho está baseado, principalmente, na utilização de *softwares* relacionados à área da geodésia, fotogrametria e processamento digital de imagem, responsáveis geração da base de dados e da manipulação das imagens geradas. Portanto, fez-se uso dos *softwares* IBGE-PPP, Topcon-Tools, MissionPlanner, Pix4d e MatLab R2015b. O primeiro e o segundo *softwares* se encarregaram pela determinação das coordenadas utilizadas para a orientação da faixa fotogramétrica; o terceiro *software* foi

utilizado para o planejamento de voo; o quarto *software* foi utilizado para a reconstrução tridimensional das múltiplas imagens; o último dispõe de ferramentas para a manipulação dos dados gerados (pelo *software* anterior), mediante a técnica da morfologia matemática.

3.2.2 RECEPTOR TOPCON GPS HIPER LITE – RTK

Para a realização do presente trabalho foi utilizado um par de receptores GNSS, compostos de antenas e sua respectiva coletora de dados. Além de este receptor ser um GPS geodésico com capacidade de recepção das ondas portadoras L1 e L2, possui a função RTK (*Real Time Kinematic*), posicionamento cinemático em tempo real.

FIGURA 5 - RECEPTOR TOPCON GPS HIPER LITE – RTK



FONTE: EMBRATOP (2016).

Para levantamentos estáticos e estático-rápido a precisão horizontal é de $5 \text{ mm} \pm 5 \text{ ppm}$ e vertical de $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$. Para levantamentos cinemáticos e RTK a precisão horizontal é de $10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$ e vertical de $20 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$.

3.2.3 VANT E CÂMERA

A plataforma VANT utilizada no voo fotogramétrico do presente trabalho, é de propriedade do Instituto Tecnológico SIMEPAR. Esta plataforma foi montada a partir de um aeromodelo comercial, do modelo asa VANT, Figura 06, produzido pela empresa Air Design Modelismo.

FIGURA 6 - AEROMODELO TIPO ASA VANT

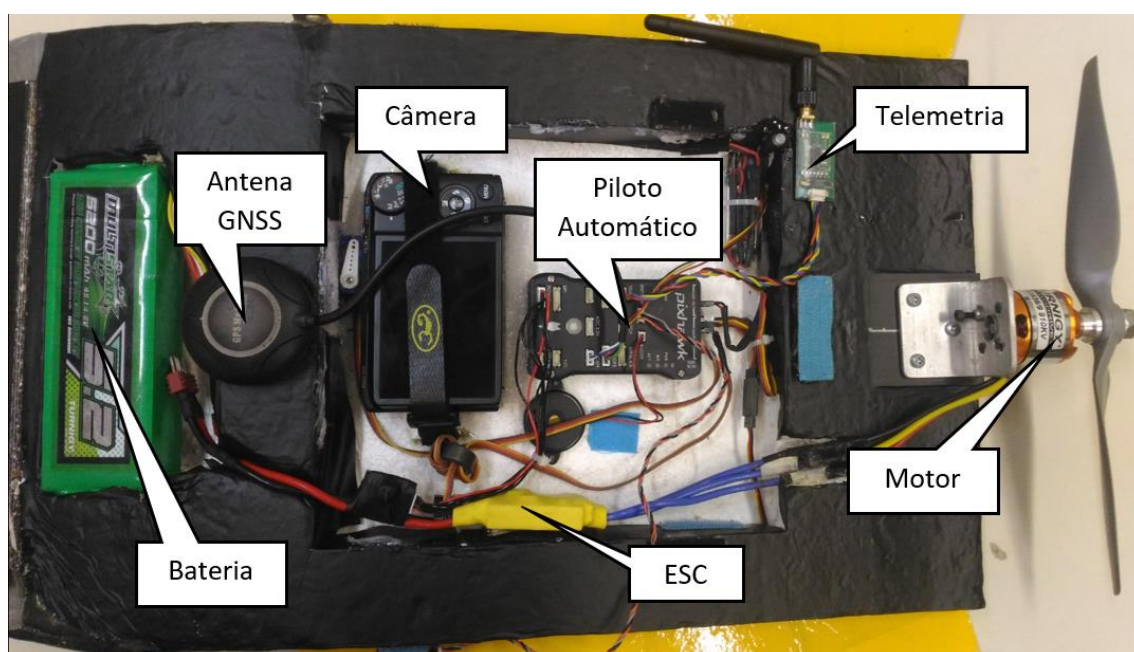


FONTE: AIR DESIGN MODELISMO (2016).

Para a coleta de dados fotogramétricos e automação do voo, foram necessárias modificações no aeromodelo, como um furo no corpo da aeronave,

para a fixação da objetiva da câmera fotográfica, e a instalação e posicionamento dos seguintes componentes: antena GNSS do sistema de navegação; placa controladora do piloto automático; sistema de telemetria e baterias. A Figura 07 mostra como ficou a distribuição dos novos equipamentos instalados no corpo da aeronave, depois de realizadas as modificações.

FIGURA 7 - ELETRÔNICA EMBARCADA



FONTE: AUTORES (2016).

A configuração do piloto automático é realizada através do software Mission Planner, neste é definido o tipo de aeronave, assim como os parâmetros de voo e configuração dos demais componentes do sistema. No software também é possível realizar a calibração dos sensores de atitude e direção da aeronave, sendo esses os giroscópios, acelerômetros e bússolas.

A Tabela 02 mostra como ficaram as características do VANT após as alterações realizadas.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DO VANT

ENVERGADURA	1,5 m
PESO	2,0 kg
MOTOR	3536 - 910kv
BATERIA	14,8V - 5,2 Ah
AUTONOMIA	20 minutos
VELOCIDADE DE CRUZEIRO	65,0 km/h
PILOTAGEM	Piloto Automático e Radiocontrole
PILOTO AUTOMÁTICO	Pixhawk - Ardu Planer v3.7.1
CÂMERA FOTOGRÁFICA	Canon SX260 HS 12 MP

FONTE: AUTORES (2016).

Para a realização do voo fotogramétrico do presente trabalho, a plataforma VANT utilizou embarcada, uma câmera digital, não métrica, de pequeno formato, da marca e modelo, Canon PowerShot SX260 HS, sendo as características desta câmera, descritas na Tabela 03.

TABELA 3 - CARACTERÍSTICAS DA CÂMERA

DISTÂNCIA FOCAL	4,5 mm
QUADRO FOCAL	4000 x 3000 <i>pixels</i>
TAMANHO DO SENSOR	6,17 x 4,55 mm
TAMANHO DO PIXEL	1,54 μm
TIPO DO SENSOR	CMOS

FONTE: CANON (2016).

3.3 IMPLANTAÇÃO DA BASE DO PROJETO

No local, não foi encontrada nenhuma RN (Referência de Nível) ou marcos geodésicos. Portanto, foi definida a implantação de um ponto geodésico (sem homologação), este sendo a base do projeto, próximo a rodovia PR-281, situando-se dentro da propriedade Grameira Gramapar, como mostra a figura 8.

FIGURA 8 - IMPLANTAÇÃO DA BASE



FONTE: AUTORES (2016).

O ponto geodésico implantado foi materializado com um piquete de madeira, por se tratar de um trabalho para fins acadêmicos, de curta duração e com finalidade de tornar mínimos os custos e simplificar a execução do trabalho.

Com o piquete implantado no local, foi utilizado um receptor GNSS, de dupla frequência, para a coleta de dados da posição do respectivo ponto. O processamento utilizado para esta etapa foi o Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP), pois, além de se tratar de um serviço gratuito, a estação da RBMC mais próxima do local se encontra a mais de 50 km de distância. Desta forma, a precisão encontrada com uma linha de base superior a este valor, e utilizando o método de posicionamento relativo estático, poderia ter um resultado próximo ao obtido pelo PPP. O tempo de rastreamento foi entorno de 3 horas, com uma taxa de gravação de 15 (quinze) segundos e máscara de elevação de 10° (dez) graus.

Foi definido 3 horas de rastreamento, pois, segundo o manual do usuário do aplicativo online IBGE-PPP, para atingir uma precisão centimétrica utilizando um receptor GPS de duas frequências para um levantamento estático, são necessárias, pelo menos, duas horas de rastreamento, como mostra a figura 09.

FIGURA 9 - PRECISÃO ESPERADA PARA UM LEVANTAMENTO ESTÁTICO - PPP

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010

FONTE: IBGE (2016).

Com os dados em mãos, foi inicialmente gerado um arquivo no formato RINEX (arquivo que engloba as informações do GPS em um formato padrão e deve estar contido no processamento utilizando o serviço do IBGE-PPP). Este serviço apresenta três tipos de órbitas precisas disponibilizadas pelo IGS/NRCan, as quais recebem a seguinte denominação: FINAL, RÁPIDA e ULTRA-RÁPIDA. Cada uma delas possui uma precisão associada e são disponibilizadas em diferentes momentos. Para o processamento dos dados, foram necessários 14 (quatorze) dias para que estes utilizassem as órbitas precisas FINAL, que apresenta uma precisão melhorada.

As coordenadas geodésicas encontradas para o ponto base do projeto, no sistema SIRGAS2000 fuso 22 foram as seguintes:

TABELA 4 - COORDENADAS DA BASE NO SISTEMA SIRGAS2000

COORDENADAS SIRGAS 2000			
PONTO	UTM N(m)	UTM E (m)	ALTITUDE (m)
BASE	7141548,381	687384,266	900,38

FONTE: AUTORES (2016).

3.4 PLANO DE VOO

Uma das etapas mais importantes do presente trabalho trata-se do Plano de Voo. Antes da execução do levantamento aerofotogramétrico, foi definido o uso de uma câmera digital de pequeno porte não métrica, da marca Canon modelo PowerShot sx260HS, com lentes de ângulo de cobertura do tipo

normal. Nesta, a distância focal é de 4.5 milímetros, e a dimensão do sensor equivalente a 6.198 mm x 4.648mm e com um total de 4000 x 3000 pixels.

Partindo-se de que o diâmetro do topo de um poste é de aproximadamente 14 (quatorze) centímetros, que este é o menor elemento a ser representado na imagem e que foi definido que este seja representado por 4 (quatro) pixels, foi possível realizar o cálculo do GSD (*Ground Sample Distance*).

$$\text{Tamanho do pixel} = \frac{\text{dimensão do sensor}}{\text{total de pixels}}$$

$$\text{Tamanho do GSD} = \frac{\text{diâmetro do poste}}{\text{representação em pixels}}$$

Considerando que o tamanho do pixel do sensor é de 1,5495*E-06m, o valor encontrado para o tamanho do GSD é de 3,5cm.

Com o valor do GSD, e sabendo a distância focal da câmera e o tamanho do pixel, tornou-se possível estimar a altura de voo para o projeto.

$$\text{Altura de voo} = \frac{\text{Distância Focal}}{\text{Tamanho do Pixel}} * \text{GSD}$$

O valor encontrado para a altura de voo foi 101,65m, o que pode ser proximado para 100m.

Todo o planejamento foi realizado através do software *MissionPlanner*. Inicialmente, foi definida a área em que o levantamento aerofotogramétrico deve ser executado. Em seguida, foram definidos os parâmetros do planejamento definitivo, tais como: parâmetros da câmera, sobreposição longitudinal e lateral, altura de voo e velocidade da aeronave.

Em relação à sobreposição, trata-se de um levantamento fotogramétrico realizada ao longo de uma faixa fotogramétrica. Foi adotado um recobrimento com sobreposição longitudinal de 90%. O motivo para estes valores deve-se ao fato da rigidez geométrica em função da distância focal e tamanho do quadro focal das câmeras. A sobreposição longitudinal proporciona uma cobertura do

terreno de dois ou mais pontos de vistas diferentes, permitindo a produção de estereopares. Para a sobreposição lateral foi adotada uma cobertura de 70%. Tendo em vista que a plataforma VANT é muito instável em situações de rajadas de ventos, esta foi aumentada em 30% em relação aos recobrimentos adotados para a utilização de aeronaves convencionais.

O tempo de disparo da câmera está diretamente relacionado com a porcentagem da sobreposição longitudinal e da velocidade de cruzeiro do VANT utilizado.

Por fim, os parâmetros do planejamento de voo foram os seguintes:

TABELA 5 - DESCRIÇÃO DO PLANEJAMENTO DE VOO

DESCRIÇÃO DO PLANEJAMENTO DE VOO	
SOBREPOSIÇÃO LONGITUDENAL	90 %
SOBREPOSIÇÃO LATERAL	70 %
ALTURA DE VOO	100 m
ÁREA	69508 m ²
DISTÂNCIA	2,34 km
AEROBASE	10 m
INTERVALO DE DISPARO	0,6 segundos
GSD	3,37 cm
FOTOGRAFIAS	174 - 208
NÚMERO DE FAIXAS	2
DISTÂNCIA ENTRE FAIXAS	41,13 m
TAMANHO DA IMAGEM NO TERRENO	137,1 x 101,1 m
TEMPO DE VOO	3 minutos
ELEVAÇÃO APROXIMADA DO TERRENO	894 – 913 m

FONTE: AUTORES (2016).

FIGURA 10 - PLANO DE VOO



FONTE: AUTORES (2016).

3.5 LEVANTAMENTO DOS PONTOS DE APOIO DE CAMPO

Os pontos de apoio aerofotogramétrico têm por objetivo fornecer as coordenadas necessárias no processo de aerotriangulação. Estes pontos serão pré-sinalizados no terreno por chapas de madeira MDF com uma dimensão de 40 cm x 40 cm, representado em forma de tabuleiro (preto e branco), podendo assim, ser identificados nas fotografias.

FIGURA 11 - MATERIALIZAÇÃO DO PONTO DE APOIO



FONTE: AUTORES (2016).

Em escritório, foi simulada uma distribuição aproximada da localização onde os pontos de apoio seriam implantados. Esta simulação foi fundamentada de acordo com a área de execução do levantamento, definida no plano de voo. Por se tratar de uma área de recobrimento relativamente pequena, e de uma porcentagem alta de recobrimento entre as fotografias e faixas, foi definido que o número de alvos necessários seria de 10 (dez).

A distribuição foi planejada de forma a abranger toda a área de estudo, sendo posicionados pontos nas extremidades e ao longo do bloco fotogramétrico, de forma a propiciar uma geometria mais adequada.

A etapa de pré-sinalização dos pontos consistiu em distribuí-los em suas posições pré-estabelecidas no terreno. Em seguida, foi instalado um dos receptores GPS/GNSS sobre o ponto da base, este com as coordenadas já processadas pelo serviço IBGE-PPP, conforme é mostrado na figura 12.

FIGURA 12 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO



FONTE: AUTORES (ADAPTADO (GOOGLE EARTH) 2016).

Utilizando o método de posicionamento diferencial RTK, coletaram-se dados do centro de cada alvo. A figura 13 mostra a execução desta etapa no local.

FIGURA 23 - COLETA DO PONTO DE APOIO



FONTE: AUTORES (2016).

Todos os pontos coletados em campo foram identificados nas fotografias. As coordenadas dos pontos de apoio do levantamento fotogramétrico foram obtidas através da utilização do software TopconTools e encontram-se listados na tabela 06.

TABELA 6 - COORDENADAS SIRGAS2000 - PONTOS DE APOIO

COORDENADAS SIRGAS 2000			
PONTO	UTM N (m)	UTM E (m)	ALTITUDE (m)
BASE	7141548,381	687384,266	900,380
APOIO 01	7141602,590	687431,581	900,010
APOIO 02	7141387,531	687230,805	900,807
APOIO 03	7141092,543	686938,331	900,916
APOIO 04	7141109,743	686925,901	900,765
APOIO 05	7141212,633	687029,322	901,137
APOIO 06	7141659,873	687441,059	899,063
APOIO 07	7141560,482	687356,276	900,170
APOIO 08	7141446,367	687249,709	900,687
APOIO 09	7141427,325	687337,522	900,146
APOIO 10	7141520,098	687409,653	899,746

FONTE: AUTORES (2016).

3.6 EXECUÇÃO DO VOO

Para a realização do levantamento aerofotogramétrico utilizando VANT, primeiramente, implantou-se uma estação de controle em campo, nesta era realizado o acompanhamento em tempo real do voo, através dos dados telemétricos enviados do VANT para a estação. O responsável pela sua operação era o copiloto, este certificava que a aeronave estava cumprindo o plano de voo de forma correta, também tinha a responsabilidade de alertar o piloto para pouso da aeronave, caso algum erro tivesse sido reportado pela telemetria. A figura 14 mostra a estação de controle montada em campo.

FIGURA 14 - ESTAÇÃO DE CONTROLE



FONTE: AUTORES (2016).

A decolagem e aterrissagem do VANT foram feitas de forma manual, pelo piloto. As decolagens foram realizadas com o auxílio de um elástico, figura 15, esticado e preso por uma argola no gancho presente na parte inferior dianteira do VANT. O piloto era responsável por todas as etapas do voo manual, e, quando o VANT estava cumprindo o plano de voo de forma automática, o piloto, quando possível, acompanhava visualmente a aeronave e analisava as atitudes e estabilidade da plataforma durante o voo.

FIGURA 35 - DECOLAGEM DO VANT



FONTE: AUTORES (2016).

A aquisição das imagens ocorreu na fase autônoma do voo, onde o VANT executou o plano de voo, previamente elaborado, utilizando os parâmetros da câmera, altura de voo e sobreposições longitudinal e lateral. Por esses motivos, o planejamento de voo e acompanhamento de seu cumprimento, são importantes para o aerolevante com VANT.

3.7 GERAÇÃO DA NUVEM DE PONTOS

Para a geração da nuvem de pontos, foi utilizado o software de fotogrametria Pix4D. Inicialmente foram importadas para o software 167 imagens, todas obtidas pelo voo aerofotogramétrico. Como o voo não foi apoiado, ou seja, as observações da posição e a atitude da câmera a cada tomada de foto durante o levantamento aerofotogramétrico não foram determinadas, assim, nenhuma das imagens possuem parâmetros de orientação exterior.

No Pix4D a orientação exterior dessas imagens, primeiramente, é calculada através da solução das equações de colinearidade utilizando um referencial arbitrário, e parâmetros de orientação interior aproximados, obtidos através de uma pré-calibração da câmera realizada pelo próprio software. Essa calibração inicial, Tabela 07, utiliza os diversos pontos de ligação, obtida de forma automática pelo algoritmo SIFT, uma opção do Pix4D, para aperfeiçoar a calibração inicial da câmera. Ainda utilizando os parâmetros de orientação provisórios, o software realiza a densificação da nuvem de pontos.

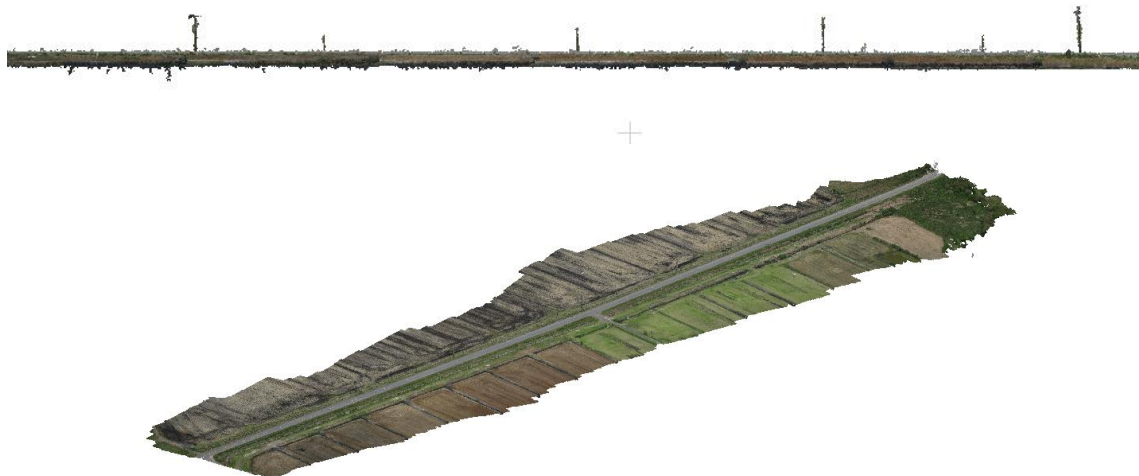
TABELA 7 - PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA

PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DA CÂMERA		
	VALORES INICIAIS	VALORES OTIMIZADOS
DISTÂNCIA FOCAL	4,500 mm	4,625 mm
PONTO PRINCIPAL (X)	3,099 mm	3,094 mm
PONTO PRINCIPAL (Y)	2,324 mm	2,326 mm
R1	-0,013	-0,022
R2	0,005	0,002
R3	-0,002	0,005
T1	0,006	0,000
T2	-0,003	-0,001

FONTE: AUTORES (2016).

A seguinte etapa realizada pelo software trata-se da orientação absoluta da nuvem de pontos, onde, através de um conjunto de operações, aloca a nuvem na posição, escala e atitude correta em relação ao referencial estabelecido. Nesta fase o software utiliza a transformação de similaridade 3D, esta transformação produz uma nuvem de pontos adequada para aplicações de mapeamento, por ser uma transformação linear e rígida. Como o presente trabalho utilizou somente a nuvem de pontos gerada, figura 16, os demais processos e opções do software não foram executados. Todas as configurações do Pix4D, utilizadas para a geração da nuvem de pontos estão descritas na tabela 08 e no Anexo A. Nesta nuvem, é possível verificar as feições dos postes.

FIGURA 46 - NUVEM DE PONTOS



FONTE: PIX4D (2016).

TABELA 8 - CONFIGURAÇÃO - PIX4D

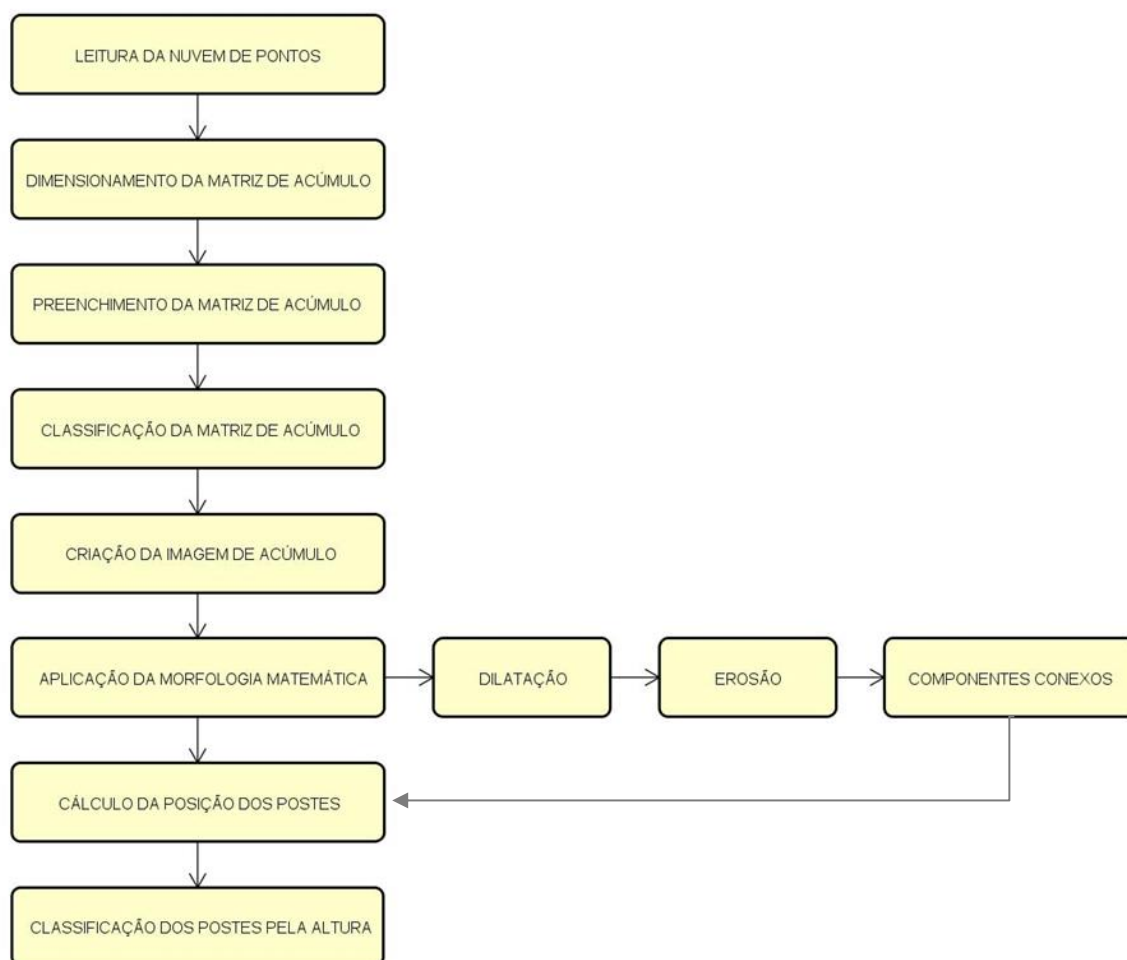
INITIAL PROCESSING	
KEYPOINTS IMAGE SCALE	FULL
MATCHING IMAGE PAIR	ARIAL GRID OR CORRIDOR
TARGETED NUM. OF KEYPOINTS	AUTOMATIC
CALIBRATION	CALIBRATION METHOD: STANDART
	INTERNAL PARAM. OPTIMIZATION: ALL
	EXTERNAL PARAM. OPTIMIZATION: ALL
	REMATCH: AUTO, YES
	BUNDLE ADJUSTMENT: CLASSIC
POINT CLOUD DENSIFICATION DETAILS	
IMAGE SCALE	1/2 (HALF IMAGE SIZE)
POINT DENSITY	OPTIMAL
MINIMUM NUNBER OS MATCHES	3

FONTE: AUTORES (2016).

3.8 EXTRAÇÃO DOS POSTES

A seguir é mostrado um fluxograma das etapas da extração dos postes a partir da nuvem de pontos.

FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO



FONTE: AUTORES (2016).

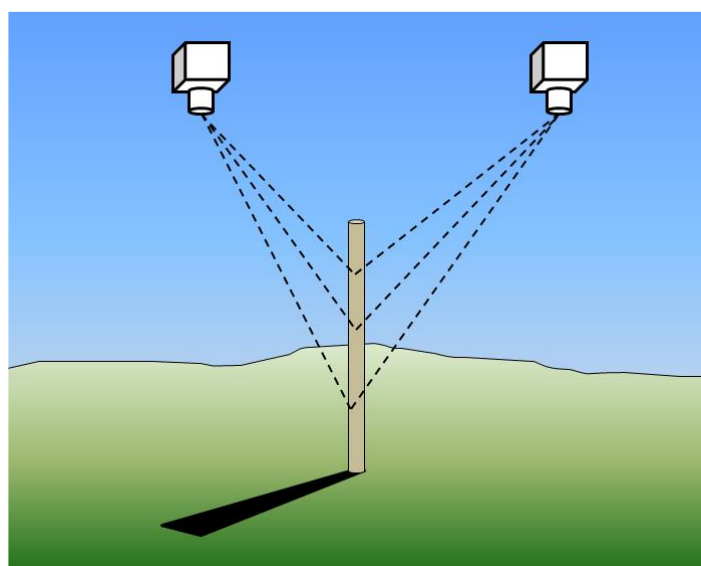
3.8.1. GRADE DE ACÚMULO

Após a aquisição da nuvem de pontos da área de estudo obtida através do processamento fotogramétrico, e utilizando técnicas aprimoradas de processamento digital de imagens, foi gerado um algoritmo que permite a extração das coordenadas da base dos postes de forma automática.

Conforme é mostrado na Figura 18, o resultado do processamento fotogramétrico é uma nuvem de pontos. Ela é composta por pontos com

coordenadas tridimensionais XYZ e a informação e cor (RGB). A hipótese básica para a detecção dos postes segue o raciocínio de Zhenga et al (2016), originalmente proposto para dados de varredura a laser. Considerando que o poste é uma estrutura vertical, e que os raios fotogramétricos são geralmente inclinados, devido à baixa altura de voo, é esperado que mais de um ponto do poste seja identificado no processamento digital da geração de nuvem de pontos, como é mostrado na figura a seguir.

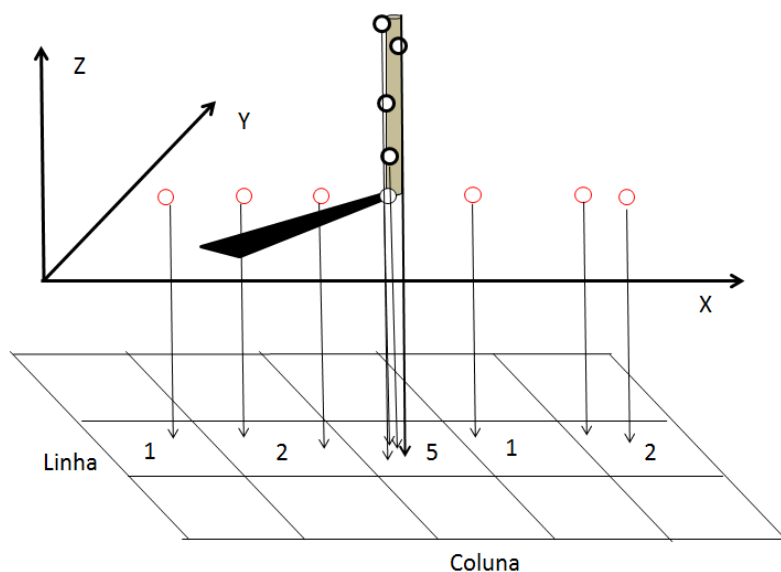
FIGURA 58 - NUVEM DE PONTOS DE UM POSTE



FONTE: CENTENO (2016).

Se isso ocorre, no caso de um poste, então é esperado que vários pontos da nuvem tenham as mesmas coordenadas planimétricas (XY), com diferentes coordenadas verticais (Z) ao longo do poste. Com base nessa hipótese, optou-se por projetar os pontos em uma grade regular bidimensional de acúmulos. Os valores das células da grade correspondem ao total de pontos que se localizam dentro da célula na grade, considerando um plano horizontal, como mostra a figura 19.

FIGURA 19 - NUVEM DE PONTOS DE UM POSTE



FONTE: CENTENO (2016).

As células com altos valores de acúmulo correspondem a estruturas verticais, postes, na área de estudo. Para isto foi definido um limiar de acúmulo e as células com valores inferiores ao limiar foram descartadas (zero) e as com valores iguais ou superiores ao limiar foram consideradas postes, ou partes dos mesmos (valor 255). Isto possibilitou a geração de uma imagem binária onde se encontra pequenos agrupamentos de pixels representando os postes.

3.8.2. CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS POSTES

Os postes não são representados por apenas uma célula com valor alto do acúmulo, mas por pequenos agrupamentos de pixels com alto acúmulo. Na intenção de reduzir estes agrupamentos a apenas a seu centro foi aplicada a morfologia matemática.

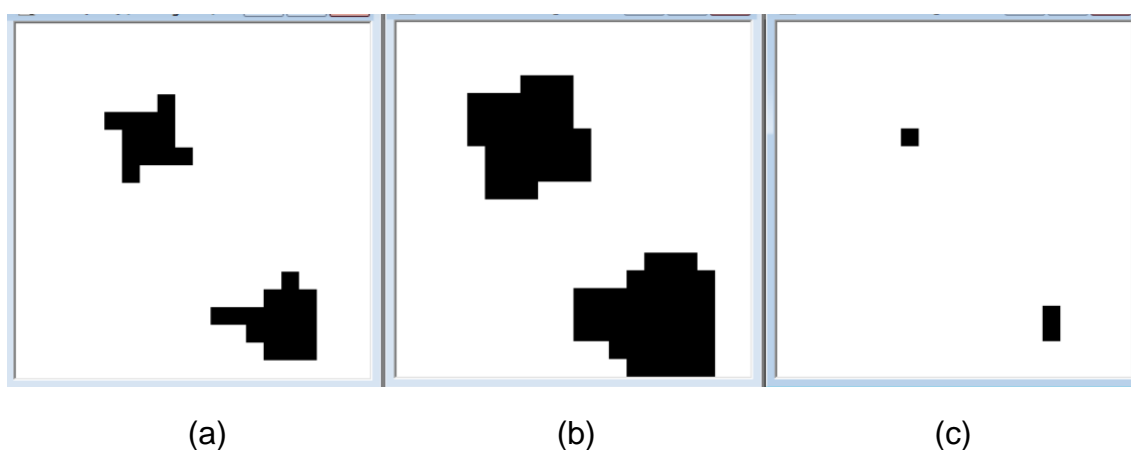
A força da Morfologia Matemática reside no fato de quantificar a intuição do pesquisador, analisando a estrutura geométrica das imagens a partir de um conjunto perfeitamente definido e conhecido pelo usuário chamado de Elemento Estruturante. Este vai interagir com cada entidade contida na

imagem, modificando a sua aparência, a sua forma, o seu tamanho permitindo assim tirar algumas conclusões necessárias. A eficiência e também a dificuldade da morfologia matemática reside na escolha da deformação certa para transformar a intuição intelectual em aplicação prática (FACON (2011)).

A morfologia matemática é a extensão da aplicação de operadores lógicos de conjuntos a imagens digitais. Considerando uma imagem binária, pode-se definir seus elementos como “fundo=branco” e “objetos=preto” na Figura 21.

Os principais operadores de morfologia matemática são a erosão e a dilatação e serão explicados com ajuda da Figura 21. A figura mostra dois conjuntos de pontos (pretos). O operador de dilatação consiste em aumentar as bordas destes agrupamentos pela operação lógica com um elemento estruturante previamente definido. Seu efeito é aumentar os agrupamentos, como mostra a figura b. Já o outro operador, erosão, consiste em retirar pixels nas bordas dos agrupamentos, reduzindo sua área, conforme a figura c. Uma das aplicações da erosão é eliminar pequenos agrupamentos que podem não ser grandes o suficiente para ser um poste.

FIGURA 60 - OPERADORES MORFOLÓGICOS - (A) ORIGINAL (B) DILATAÇÃO (C) EROÇÃO



FONTE: CENTENO (2016).

Para facilitar a interpretação do conteúdo das imagens, os elementos estruturantes devem ser o mais simples possível. Na maioria dos casos, os elementos estruturantes são escolhidos em função das propriedades de convexidade, não convexidade, isotropia e anisotropia.

Com o uso da morfologia matemática, foi possível agrupar todos os pixels que representavam um poste, foi utilizado o elemento estruturante círculo, para o processo de dilatação e posteriormente foi realizada a erosão da imagem.

Para a obtenção das coordenadas da base dos postes, aplicou-se a técnica de componentes conexas, onde são classificadas as regiões da imagem, assim adotando uma classe diferente para cada região desconexa, na sequência são calculados os centroides de cada uma das regiões, que representam a posição dos postes no terreno depois de realizada a transformações para o referencial cartesiano.

3.8.3. CLASSIFICAÇÃO

A última etapa do algoritmo trata-se da classificação dos postes pelo valor da altura, esta é calculada através da diferença do menor valor de altitude com o maior, encontrado na posição de cada poste obtido pelo algoritmo. Essa classificação diferencia os postes quanto ao material de sua fabricação. Os postes que apresentaram altura inferior a 7 metros foram classificados como de telefonia. Já os postes que apresentaram altura superior a 7 metros foram classificados como de alta tensão. A seguinte tabela apresenta os resultados obtidos.

TABELA 9 - POSTES EXTRAÍDOS

POSTES EXTRAÍDOS						
ID	E (m)	N (m)	H min (m)	H máx (m)	Altura (m)	Classificação
1	686949,70	7141134,40	901,24	904,90	3,66	Telefonia
2	687002,10	7141190,90	901,21	906,75	5,54	Telefonia
3	687054,70	7141244,90	901,22	910,24	9,03	Alta Tensão
4	687082,00	7141273,90	901,16	905,74	4,57	Telefonia
5	687135,95	7141327,90	900,87	907,66	6,79	Telefonia
6	687188,10	7141381,90	900,83	910,24	9,41	Alta Tensão
7	687222,00	7141416,90	900,70	905,66	4,96	Telefonia
8	687242,45	7141440,90	900,57	912,30	11,74	Alta Tensão
9	687271,95	7141471,40	900,53	905,81	5,28	Telefonia
10	687322,06	7141527,13	900,17	908,92	8,76	Alta Tensão
11	687373,40	7141584,90	900,04	903,66	3,62	Telefonia
12	687423,10	7141640,15	899,20	905,39	6,20	Telefonia
13	687446,32	7141665,58	898,95	909,13	10,17	Alta Tensão
14	687472,30	7141695,65	898,36	904,84	6,48	Telefonia

FONTE: AUTORES (2016).

3.9 CONTROLE DE QUALIDADE GEOMÉTRICA

Um fator muito importante na geração de um produto cartográfico, e que deve ser realizado, é a análise de qualidade geométrica. Nesta análise, é realizada uma comparação entre as coordenadas geradas pelas etapas anteriores com as coordenadas dos postes levantadas em campo.

Esta etapa foi realizada para avaliar em qual classe o produto gerado se encaixaria, de acordo com o decreto 89.817 de 1984, que estabelece percentuais de erros cometidos e erros padrões para diferentes classes de cartas dentro de diferentes escalas (PEC), em uma possível geração de um mapa cadastral.

Para a coleta em campo das coordenadas de cada poste, foi utilizado o mesmo par de receptores GNSS empregados nas etapas anteriores. Assim como na coleta dos pontos de apoio, o método utilizado foi o posicionamento diferencial RTK.

Em campo, foi realizado o levantamento das coordenadas dos 14 (quatorze) postes presentes na área de estudo, como é mostrado na figura 21.

FIGURA 21 - LEVANTAMENTO DOS POSTES



FONTE: AUTORES (2016).

Além do posicionamento de cada poste, foram levantadas informações do poste, tais como: material (concreto ou madeira), tipo (iluminação, telefonia ou energia).

Em escritório, foram calculadas as discrepâncias entre as coordenadas dos postes geradas no projeto com as coordenadas dos postes obtidas em campo com os receptores GNSS de forma direta.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico serão apresentados os resultados e as análises dos processamentos das coordenadas da base do projeto, dos pontos de apoio fotogramétricos, dos pontos levantados em campo e da qualidade do produto final, ou seja, das coordenadas definitivas de cada poste coletado. Além disso, será apresentada a análise da viabilidade do projeto.

4.1 POSICIONAMENTO POR PONTO PRECISO

As coordenadas e informações mais relevantes do ponto tido como base do projeto são apresentadas na tabela 10. O seu relatório do Posicionamento Por Ponto Preciso gerado através do serviço IBGE-PPP encontra-se no Anexo B.

TABELA 10 - COORDENADAS E DESVIOS PADRÕES DA BASE

COORDENADAS UTM SIRGAS				DESVIOS-PADRÕES		
PONTO	UTM N (m)	UTM E (m)	ALTURA GEOIDAL (m)	UTM N (m)	UTM E (m)	ALTURA GEOIDAL (m)
BASE	7141548,381	687384,266	900,38	0,003	0,010	0,014

FONTE: AUTORES (2016).

FIGURA 72 - RELATÓRIO IBGE-PPP

Início: AAA A/M/ DD HH:MM:SS,SS	2016/09/17 14:03:00,00
Fim: AAA A/M/ DD HH:MM:SS,SS	2016/09/17 17:13:30,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_LITE NONE
Órbitas dos satélites: ¹	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	15,00
Sigma² da pseudodistância(m):	2,000
Sigma da portadora(m):	0,015
Altura da Antena³(m):	1,463
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,09 GPS 1,22 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,76 GPS 0,99 GLONASS

FONTE: AUTORES (2016).

Como o objetivo principal do presente trabalho é trabalhar com a precisão planimétrica, e, de acordo com o Manual do Usuário (IBGE – PPP), a precisão planimétrica esperada para um receptor de dupla frequência com um tempo de rastreo de 2 (duas) horas é de 0,015 metros, e para um tempo de rastreo de 4 (quatro) horas é de 0,006 metros. O valor da precisão planimétrica alcançado pelo ponto tido como base do projeto foi de 0,0104 metros para um tempo de rastreo de três horas e dez minutos. Portanto, a precisão das coordenadas desta base ficou dentro do intervalo esperado.

$$\sigma_{\text{Planimétrico}} = \sqrt{(0,003 \text{ m})^2 + (0,010 \text{ m})^2} = 0,0104 \text{ metros};$$

$$\text{Intervalo esperado} = 0,015 \text{ metros} < \sigma_{\text{Planimétrico}} < 0,006 \text{ metros};$$

4.2 PONTOS DE APOIO DE CAMPO

As coordenadas e suas respectivas precisões dos pontos de apoio, obtidas pelo método de posicionamento diferencial RTK, estão representadas na Tabela 11.

TABELA 11 - COORDENADAS E DESVIOS PADRÕES DOS PONTOS DE APOIO

PONTO	COORDENADAS		ELEVAÇÃO (m)	DESVIOS - PADRÕES			
	N (m)	E (m)		N (m)	E (m)	ELEVAÇÃO (m)	σ NEH
BASE	7141548,381	687384,266	900,380	X	X	X	X
PONTO 1	7141602,590	687431,581	900,010	0,007	0,008	0,014	0,011
PONTO 2	7141387,531	687230,805	900,807	0,013	0,009	0,015	0,015
PONTO 3	7141092,543	686938,331	900,916	0,010	0,006	0,012	0,012
PONTO 4	7141109,743	686925,901	900,765	0,006	0,006	0,012	0,009
PONTO 5	7141212,633	687029,322	901,137	0,007	0,008	0,013	0,010
PONTO 6	7141659,873	687441,059	899,063	0,008	0,010	0,014	0,013
PONTO 7	7141560,482	687356,276	900,170	0,012	0,005	0,012	0,013
PONTO 8	7141446,367	687249,709	900,687	0,007	0,006	0,012	0,009

PONTO	COORDENADAS		ELEVAÇÃO (m)	DESVIOS - PADRÕES			
	N (m)	E (m)		N (m)	E (m)	ELEVAÇÃO (m)	σ NEH
PONTO 9	7141427,325	687337,522	900,146	0,010	0,008	0,013	0,012
PONTO 10	7141520,098	687409,653	899,746	0,005	0,006	0,012	0,008
MÉDIA				0,009	0,007	0,0129	0,0112
DESVIO - PADRÃO				0,0022	0,0014	0,0009	0,0018

FONTE: AUTORES (2016)

O método de posicionamento diferencial RTK proporciona precisões submétricas (KRUEGER, 2015), e, de acordo com os resultados apresentados pelos pontos de apoio de campo, verificou-se que todos apresentaram precisão centimétrica.

4.3 CONTROLE DE QUALIDADE

Assim como todos e quaisquer produtos recebem um selo de qualidade e aprovação, os produtos cartográficos também precisam de um padrão de qualidade. Sendo assim, na presente norma, utilizam-se os termos Acurácia Posicional Absoluta (APA) e Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) como referência na avaliação da acuraria e precisão de um produto cartográfico.

O decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira através de procedimentos e padrões a serem obedecidos na elaboração e apresentação de documentos cartográficos no Território Brasileiro, criando o Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC, e uma classificação das cartas em: Classe A, B e C.

Como o presente trabalho se trata de um levantamento cadastral de postes, e, as escalas mais utilizadas para cadastros técnicos variam de 1:1000, 1:2000 e 1:5000, foram realizadas análises para verificar em qual classe o produto gerado atenderia na geração de um possível mapa cadastral.

TABELA 12 - PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA

ESCALA	CLASSE	PEC - PLANIMÉTRICO		PEC - ALTIMÉTRICO	
		CARTA (mm)	TERRENO (m)	CARTA (mm)	TERRENO (m)
1:1000	A	0,5	0,5	1*(1/2)	0,5
	B	0,8	0,8	1*(3/5)	0,6
	C	1,0	1,0	1*(3/4)	0,8
1:2000	A	0,5	1,0	1*(1/2)	0,5
	B	0,8	1,6	1*(3/5)	0,6
	C	1,0	2,0	1*(3/4)	0,8
1:5000	A	0,5	2,5	1*(1/2)	1,0
	B	0,8	4,0	1*(3/5)	1,2
	C	1,0	5,0	1*(3/4)	1,5

FONTE: BRASIL (1984).

4.3.1 QUALIDADE DA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DOS POSTES

Para a análise da qualidade da extração automática dos postes, foram utilizados os 14 pontos de checagem. A Tabela 13 apresenta as discrepâncias planimétricas entre as coordenadas dos postes, extraídas automaticamente da nuvem de pontos e as coordenadas obtidas pelo método de posicionamento diferencial RTK. Nesta análise, 100% das discrepâncias planimétricas são inferiores a 50 centímetros. Segundo o PEC, a geração de um produto cartográfico utilizando esses dados atendem os requisitos da Classe A de uma escala 1:1000.

TABELA 13 - DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS - CALCULADAS

POSTE	COORDENADAS CALCULADAS		COORDENADAS RTK		DISCREPÂNCIAS		
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
1	686949,700	7141134,400	686949,729	7141134,251	0,029	-0,149	0,152
2	687002,100	7141190,900	687002,215	7141190,721	0,115	-0,179	0,213
3	687054,700	7141244,900	687054,758	7141244,832	0,058	-0,068	0,089
4	687082,000	7141273,900	687082,141	7141273,818	0,141	-0,082	0,163
5	687135,950	7141327,900	687136,048	7141327,840	0,098	-0,060	0,115
6	687188,100	7141381,900	687188,189	7141382,140	0,089	0,240	0,256
7	687222,000	7141416,900	687221,980	7141417,166	-0,020	0,266	0,267
8	687242,450	7141440,900	687242,687	7141440,894	0,237	-0,006	0,237
9	687271,950	7141471,400	687271,933	7141471,453	-0,017	0,053	0,056
10	687322,062	7141527,132	687322,065	7141527,172	0,003	0,040	0,040

POSTE	COORDENADAS CALCULADAS		COORDENADAS RTK		DISCREPÂNCIAS		
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
11	687373,400	7141584,900	687373,377	7141584,849	-0,023	-0,051	0,056
12	687423,100	7141640,150	687423,124	7141640,233	0,024	0,083	0,086
13	687446,324	7141665,576	687446,373	7141665,643	0,049	0,067	0,083
14	687472,300	7141695,650	687472,360	7141695,740	0,060	0,090	0,108
MÉDIA (m)					0,060	0,012	0,139
DESVIO PADRÃO (m)					0,075	0,134	0,081
RMS (m)					0,094	0,129	0,160

FONTE: AUTORES (2016).

Na análise das discrepâncias altimétrica e tridimensionais, verificou-se que mais de 90% das discrepâncias altimétrica são inferiores a 30 centímetros e mais de 90% das discrepâncias tridimensionais são inferiores a 35 centímetros. Esta análise está descrita na Tabela 14.

TABELA 14 - DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS - CALCULADAS

POSTE	ALTITUDES (m)		DISCREPÂNCIAS	
	CALCULADAS	RTK	ΔH (m)	ΔENH (m)
1	901,243	900,913	-0,330	0,363
2	901,214	901,148	-0,066	0,223
3	901,218	901,260	0,042	0,099
4	901,165	901,309	0,144	0,218
5	900,874	900,576	-0,298	0,319
6	900,830	900,724	-0,106	0,277
7	900,699	900,603	-0,096	0,283
8	900,569	900,487	-0,082	0,251
9	900,534	900,443	-0,091	0,107
10	900,169	900,140	-0,029	0,050
11	900,041	899,974	-0,067	0,087
12	899,198	899,227	0,029	0,091
13	898,953	898,953	0,000	0,083
14	898,356	898,466	0,110	0,154
MÉDIA (m)			-0,060	0,186
DESVIO PADRÃO (m)			0,132	0,102
RMS (m)			0,141	0,211

FONTE: AUTORES (2016).

Na análise da taxa de sucesso, da classificação do tipo de poste, foi realizada a comparação entre o levantamento de campo e a classificação automática realizada pelo algoritmo desenvolvido pelos autores. A taxa de sucesso para essa análise foi de 100%, como a Tabela 15 demonstra a seguir.

TABELA 15 - CLASSIFICAÇÃO DO TIPO DE POSTE

POSTE	CALCULADO			TIPO DO POSTE	
	H mín. (m)	H máx. (m)	ALTURA DO POSTE (m)	CLASSIFICADO	LEVANTADO EM CAMPO
1	901,24	904,90	3,66	Telefonia	Telefonia
2	901,21	906,75	5,54	Telefonia	Telefonia
3	901,22	910,24	9,03	Alta Tensão	Alta Tensão
4	901,16	905,74	4,57	Telefonia	Telefonia
5	900,87	907,66	6,79	Telefonia	Telefonia
6	900,83	910,24	9,41	Alta Tensão	Alta Tensão
7	900,70	905,66	4,96	Telefonia	Telefonia
8	900,57	912,30	11,74	Alta Tensão	Alta Tensão
9	900,53	905,81	5,28	Telefonia	Telefonia
10	900,17	908,92	8,76	Alta Tensão	Alta Tensão
11	900,04	903,66	3,62	Telefonia	Telefonia
12	899,20	905,39	6,20	Telefonia	Telefonia
13	898,95	909,13	10,17	Alta Tensão	Alta Tensão
14	898,36	904,84	6,48	Telefonia	Telefonia
TAXA DE SUCESSO					100%

FONTE: AUTORES (2016).

4.3.2 QUALIDADE DA EXTRAÇÃO MANUAL DOS POSTES

A Tabela 16 apresenta as discrepâncias planimétricas entre as coordenadas dos postes, extraídas manualmente da nuvem de pontos e as coordenadas obtidas por método de posicionamento diferencial RTK. Nesta análise, verificou-se que 100% das discrepâncias planimétricas são inferiores a 35 centímetros.

TABELA 16 – DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS – MANUAL

POSTE	COORDENADAS (MANUAL)		COORDENADAS (RTK)		DISCREPÂNCIAS		
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
1	686949,563	7141134,000	686949,729	7141134,251	0,167	0,251	0,301
2	687001,938	7141190,672	687002,215	7141190,721	0,277	0,049	0,282
3	687054,688	7141245,000	687054,758	7141244,832	0,071	-0,168	0,182
4	687082,063	7141273,500	687082,141	7141273,818	0,078	0,318	0,328
5	687136,000	7141327,835	687136,048	7141327,840	0,048	0,005	0,048
6	687188,125	7141382,138	687188,189	7141382,140	0,064	0,002	0,064
7	687221,875	7141417,500	687221,980	7141417,166	0,105	-0,334	0,350
8	687242,813	7141441,000	687242,687	7141440,894	-0,125	-0,106	0,164
9	687271,875	7141471,489	687271,933	7141471,453	0,058	-0,036	0,068
10	687321,938	7141527,000	687322,065	7141527,172	0,127	0,172	0,214
11	687373,563	7141585,000	687373,377	7141584,849	-0,186	-0,151	0,239
12	687423,188	7141640,325	687423,124	7141640,233	-0,064	-0,092	0,112
13	687446,313	7141665,500	687446,373	7141665,643	0,061	0,143	0,155

POSTE	COORDENADAS (MANUAL)		COORDENADAS (RTK)		DISCREPÂNCIAS		
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
14	687472,188	7141695,500	687472,360	7141695,740	0,173	0,240	0,296
MÉDIA (m)					0,052	0,004	0,193
DESVIO PADRÃO (m)					0,121	0,183	0,103
RMS (m)					0,127	0,175	0,217

FONTE: AUTORES (2016).

Na análise das discrepâncias altimétrica e tridimensionais, Tabela 17, pode-se verificar que mais de 90% dos postes, possuem discrepância altimétrica inferior a 75 centímetros e discrepância tridimensional inferior a 81 centímetros.

TABELA 17 – DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS – MANUAL

POSTE	ALTITUDES (m)		DISCREPÂNCIAS	
	MANUAL	RTK	ΔH (m)	ΔENH (m)
1	901,669	900,913	-0,756	0,814
2	901,609	901,148	-0,461	0,540
3	901,559	901,260	-0,299	0,350
4	901,509	901,309	-0,200	0,384
5	901,309	900,576	-0,733	0,735
6	901,159	900,724	-0,435	0,440
7	901,009	900,603	-0,406	0,536
8	900,859	900,487	-0,372	0,407
9	900,759	900,443	-0,316	0,323
10	900,559	900,140	-0,419	0,471
11	900,359	899,974	-0,385	0,453
12	899,609	899,227	-0,382	0,398
13	899,459	898,953	-0,506	0,529
14	899,209	898,466	-0,743	0,800
MÉDIA (m)			-0,436	0,491
DESVIO PADRÃO (m)			0,157	0,144
RMS (m)			0,462	0,510

FONTE: AUTORES (2016).

4.3.3 COMPARAÇÃO DE MÉTODOS DE EXTRAÇÃO DE POSTES

Depois de realizadas as análises individuais dos métodos de extração de postes automático e manual, foram realizadas novas análises, comparando a diferença entre as discrepâncias de cada método.

A Tabela 18 descreve as diferenças entre as discrepâncias planimétricas obtidas em cada método de extração. Verificou-se que a média das diferenças planimétricas entre os métodos, ficou em 5,3 centímetros, com desvio padrão de 2,2 centímetros e erro quadrático médio (RMS) de 5,7 centímetros.

TABELA 18 - DIFERENÇA ENTRE AS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS

POSTE	DISCREPÂNCIAS (MANUAL)			DISCREPÂNCIAS (CALCULADA)			DIFERENÇA (MANUAL X CALCULADA)		
	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔEN (m)
1	0,167	0,251	0,301	0,029	-0,149	0,152	0,137	0,400	0,149
2	0,277	0,049	0,282	0,115	-0,179	0,213	0,162	0,228	0,069
3	0,071	-0,168	0,182	0,058	-0,068	0,089	0,012	-0,100	0,093
4	0,078	0,318	0,328	0,141	-0,082	0,163	-0,063	0,400	0,164
5	0,048	0,005	0,048	0,098	-0,060	0,115	-0,050	0,065	-0,067
6	0,064	0,002	0,064	0,089	0,240	0,256	-0,025	-0,238	-0,192
7	0,105	-0,334	0,350	-0,020	0,266	0,267	0,125	-0,600	0,083
8	-0,125	-0,106	0,164	0,237	-0,006	0,237	-0,363	-0,100	-0,073
9	0,058	-0,036	0,068	-0,017	0,053	0,056	0,075	-0,089	0,013
10	0,127	0,172	0,214	0,003	0,040	0,040	0,124	0,132	0,174
11	-0,186	-0,151	0,239	-0,023	-0,051	0,056	-0,162	-0,100	0,183
12	-0,064	-0,092	0,112	0,024	0,083	0,086	-0,088	-0,175	0,025
13	0,061	0,143	0,155	0,049	0,067	0,083	0,012	0,076	0,072
14	0,173	0,240	0,296	0,060	0,090	0,108	0,113	0,150	0,187
MÉDIA (m)	0,052	0,004	0,193	0,060	0,012	0,139	-0,008	-0,008	0,053
DESVIO PADRÃO (m)	0,121	0,183	0,103	0,075	0,134	0,081	0,045	0,049	0,022
RMS (m)	0,127	0,175	0,217	0,094	0,129	0,160	0,033	0,047	0,057

FONTE: AUTORES (2016).

As diferenças entre as discrepâncias altimétrica foram maiores, se comparado, as discrepâncias planimétricas. Observou-se que no momento da coleta manual não era possível visualizar a base do poste na nuvem de pontos, pois existe uma vegetação rasteira de aproximadamente 40 centímetros nas bases dos postes.

Na análise das diferenças entre as discrepâncias altimétrica e tridimensionais, Tabela 19, verificou-se que em média a diferença altimétrica atingiu o valor de -37,6 centímetros, com desvio padrão de 2,5 centímetros e erro quadrático médio (RMS) de 32,1 centímetros, para a diferença das discrepâncias tridimensionais obteve-se o valor de média de 30,5 centímetros, desvio padrão de 4,2 centímetros e erro quadrático médio de 29,9 centímetros.

TABELA 19 - DIFERENÇA ENTRE AS DISCREPÂNCIAS ALTIMÉTRICA E TRIDIMENSIONAIS

POSTE	DISCREPÂNCIAS (MANUAL)		DISCREPÂNCIAS (CALCULADA)		DIFERENÇA (MANUAL X CALCULADA)	
	ΔH (m)	ΔENH (m)	ΔH (m)	ΔENH (m)	ΔH (m)	ΔENH (m)
1	-0,756	0,814	-0,330	0,363	-0,426	0,451
2	-0,461	0,540	-0,066	0,223	-0,395	0,318
3	-0,299	0,350	0,042	0,099	-0,341	0,251
4	-0,200	0,384	0,144	0,218	-0,344	0,166
5	-0,733	0,735	-0,298	0,319	-0,435	0,415
6	-0,435	0,440	-0,106	0,277	-0,329	0,163
7	-0,406	0,536	-0,096	0,283	-0,310	0,253
8	-0,372	0,407	-0,082	0,251	-0,290	0,156
9	-0,316	0,323	-0,091	0,107	-0,225	0,217
10	-0,419	0,471	-0,029	0,050	-0,390	0,421
11	-0,385	0,453	-0,067	0,087	-0,318	0,366
12	-0,382	0,398	0,029	0,091	-0,411	0,307
13	-0,506	0,529	0,000	0,083	-0,506	0,446
14	-0,743	0,800	0,110	0,154	-0,853	0,645
MÉDIA (m)	-0,436	0,491	-0,060	0,186	-0,376	0,305
DESVIO PADRÃO (m)	0,157	0,144	0,132	0,102	0,025	0,042
RMS (m)	0,462	0,510	0,141	0,211	0,321	0,299

FONTE: AUTORES (2016).

5 CONCLUSÕES

A partir dos objetivos propostos e dos resultados obtidos, conclui-se que a utilização de uma nuvem de pontos gerada através de fotografias aéreas, registradas por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) de pequeno porte, é viável para a realização de um cadastro de postes. Todos os postes presentes no local de estudo foram restituídos na nuvem de pontos.

O desenvolvimento da metodologia mostrou-se eficaz através do controle de qualidade, onde os resultados planimétricos e altimétricos da extração automática de postes, atendem as exigências do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) na Classe A, escala 1:1000.

Com relação a classificação dos tipos de postes, onde foram classificados pela altura calculada, essa metodologia mostrou-se eficaz, atingindo 100% de sucesso na sua Classificação.

Por fim, pode-se concluir que o planejamento de voo, a execução do voo e a técnica de extração dos postes foram satisfatórios para a realização de um levantamento cadastral de postes em áreas rurais.

6 RECOMENDAÇÕES

Como mencionado anteriormente no presente trabalho, o uso da tecnologia VANT para mapeamentos de múltiplas finalidades ainda se encontra em desenvolvimento. O tempo de voo e os recursos deste equipamento ainda são limitados. Também é recomendável realizar voo em regiões com pouca circulação de pessoas, visto que ainda são necessários estudos sobre segurança para a integração de VANT ao espaço aéreo.

Em relação à execução do voo, é recomendável que este seja realizado em uma data em que as condições climáticas sejam favoráveis. Como o VANT é um equipamento muito instável, rajadas de ventos podem prejudicar o desenvolvimento do produto final.

A qualidade do produto final depende também da determinação dos pontos de apoio. Os pontos de apoio de campo devem estar contidos no planejamento de voo, onde deverão ser posicionados em regiões onde possa dar maior rigidez geométrica ao modelo. Outra opção é realizar um voo apoiado, ou seja, onde é possível realizar observações que permitam determinar a posição e atitude da câmera a cada tomada de foto, um método mais sofisticado.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. **Fotogrametria**. Curitiba; SBEE, 2003; 2ª edição.

ARAKI, H.: **Notas de aula de Processamento Digital de Imagens II**. UFPR, Curitiba, 2016.

BROWN, D. C.: **Decentering Distortion of Lenses**. Photogrammetric Engineering, 1977.

CENTENO, J.: **Notas de aula de Sensoriamento Remoto II**. UFPR, Curitiba, 2016.

CORRÊA DA ROSA, J. M.: **Conceitos Básicos e Técnicas de Estatística Descritiva**. UFPR, Curitiba, 2009.

DECRETO LEI N°. 89.817, **Normas Técnicas da Cartografia Nacional**. Brasília, 20 de Junho de 1984.

DIAS, G. M.; CASSINI, J; PEREIRA, M.: **Levantamento de Limites de Imóvel Rural com uso de VANT, Eldorado do Sul – RS**. UFRGS, Porto Alegre, 2014.

EISENHART, C: **Realistic Evaluation of the Precision and Accuracy of Instrument Calibration Systems**. USA, 1963.

FERREIRA, A. M. R.: **Avaliação de Câmara de Pequeno Formato Transportada por Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT, Para uso em Aerolevantamentos**. UNB, Brasília, 2014.

FONSTAD, M. A.: **Topographic structure from motion: a new development in photogrammetric measurement**. USA, 2012.

HAN ZHENG, H.; TANB, F.; WANG, R.; **Pole-like object extraction from mobile LIDAR data**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLI-B1. 2016.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, **Posicionamento Por Ponto Preciso (PPP)**. Disponível em:

<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/ppp/default.shtm>, acessado em: 05/10/2016.

JACQUES, F.: **A Morfologia Matemática e suas Aplicações em Processamento Digital de Imagens**. VII Workshop de Visão Computacional, Curitiba, 2011.

KRUEGER, C. P.: **Notas de aula de Geodésia Espacial/Levantamentos GPS**. UFPR, Curitiba, 2015.

LOWE, D. G.: **Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints**. International Journal of Computer Vision, Vol. 60, n° 2, pp.91-110, 2004.

LUGNANI, J. B.: **Introdução à Fototriangulação**. Imprensa Universitária da UFPR, Curitiba, 1987.

MALHEIROS, A. L.; DIAS, N. L.; GONÇALVES, J. E.; HASEGAWA, T.; VISSOTTO, S.; WOLF, R.: **Experiências no uso de Veículos Aéreos Não Tripulados Para Medições de Perfis na Camada-Limite Atmosférica**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.

MONICO, J. F. G.: **Posicionamento por Ponto de Alta Precisão Utilizando o GPS: Uma solução para a Geodinâmica**. Brazilian Journal of Geophysics, Volume 18, 2000.

MORAIS, G. R.; GUZATTO, M. P.; SILVEIRA, P. G.: **Mapeamento Topográfico Cadastral por Integração de Imagens Adquiridas com VANT a Técnicas Tradicionais**. UFRGS, Porto Alegre, 2015.

MUNDO GEO, **Posicionamento em Tempo Real com GPS RTK**. Disponível em:

<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/posicionamento-em-tempo-real-com-gps-rtk/>, acessado em 22/11/16.

PALERMO, R.; LEITE, T. C.: **Integração de Levantamento Fotogramétrico Aéreo com o uso de VANT e Levantamento Fotogramétrico Terrestre para o Mapeamento Tridimensional das Ruínas de São Miguel das Missões**. UFRGS, Porto Alegre, 2013.

SANTOS, D.: **Apostila de fotogrametria**. Curso de Engenharia Cartográfica. Curitiba: 2013.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. A.: **Qualidade de Ortomosaicos de Imagens de VANT Processados com os Software APS, Pix4D e PhotoScan**. V Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2014.

SNAVELY N.: **Scene reconstruction and visualization from internet photo collections**. Doctoral thesis, University of Washington, 2008.

TOMMASELLI, A. M. G.: **Fotogrametria Básica – Introdução**. UDESC, Santa Catarina, 2009.

WHITEHEAD, K.; HUGENHOTTZ, C. H.: **Applying ASPRS Accuracy Standards to Surveys from Small Unmanned Aircraft Systems (UAS).** Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2015.

8 ANEXOS

ANEXO A

Quality Report



Generated with Pix4Dmapper Pro version 3.0.13

 Important: Click on the different icons for:

-  Help to analyze the results in the Quality Report
-  Additional information about the sections

 Click [here](#) for additional tips to analyze the Quality Report











SUMMARY



Project	tcc_hajime_jair
Processed	2016-11-23 23:00:11
Camera Model Name(s)	CanonPowerShotSX260HS_4.5_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.98 cm / 1.17 in
Area Covered	0.1547 km ² / 15.4749 ha / 0.0598 sq. mi. / 38.2591 acres

QUALITY CHECK



 Images	median of 39820 keypoints per image	
 Dataset	167 out of 167 images calibrated (100%), all images enabled	
 Camera Optimization	2.78% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	
 Matching	median of 27406.3 matches per calibrated image	
 Georeferencing	yes, 9 GCPs (9 3D), mean RMS error = 0.007 m	

 Preview



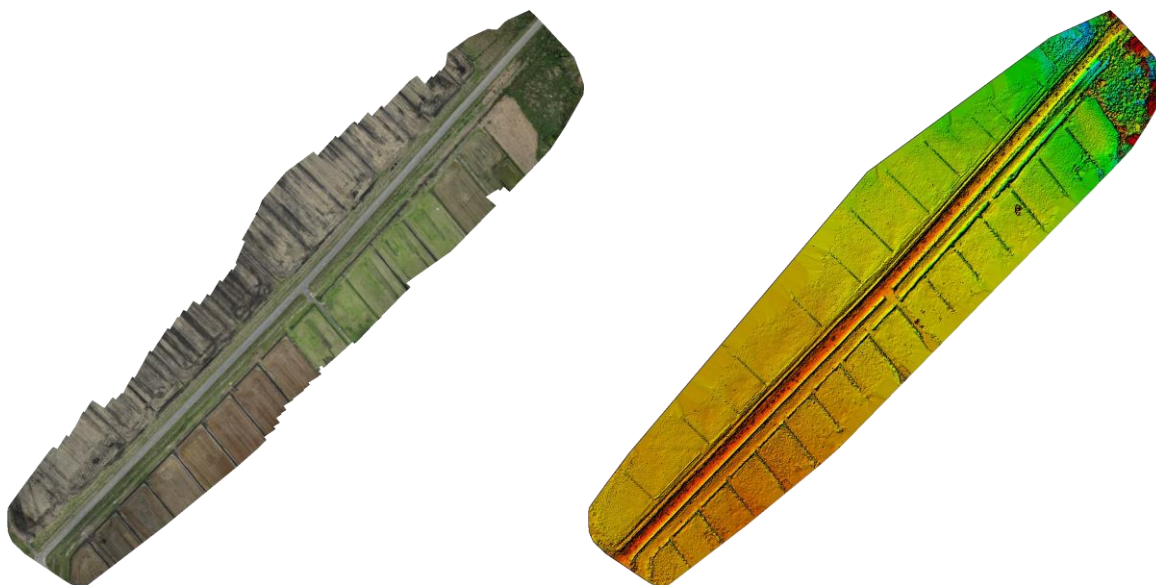


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration Details

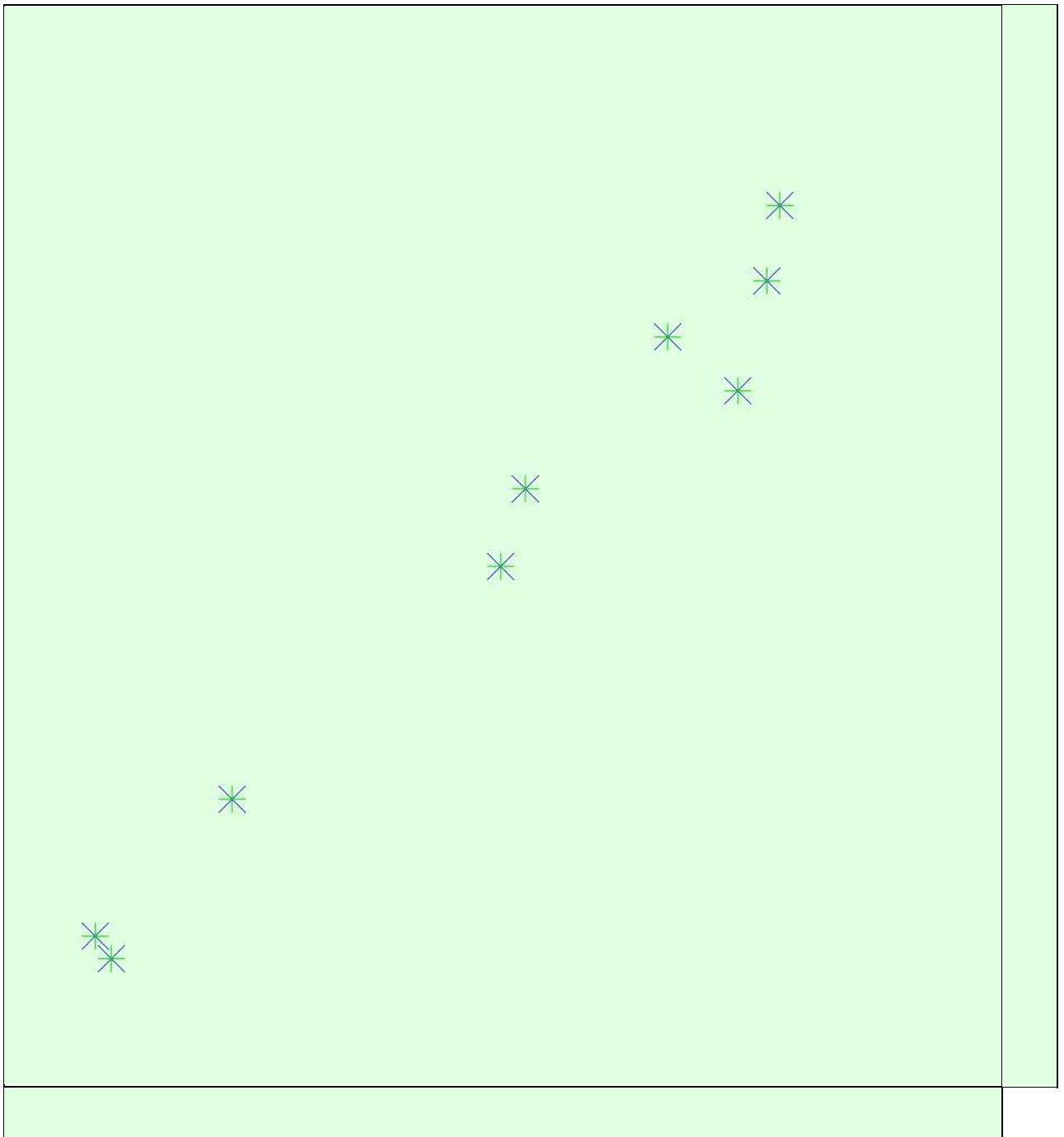


Number of Calibrated Images	167 out of 167
Number of Geolocated Images	0 out of 167

? Initial Image Positions

The preview is not generated for images without geolocation.

? Computed Image/GCPs/Manual Tie Points Positions



Uncertainty ellipses 50x magnified

Figure 3: Offset between initial (blue dots) and computed (green dots) image positions as well as the offset between the GCPs initial positions (blue crosses) and their computed positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane), and side-view (YZ plane). Dark green ellipses indicate the absolute position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? ABSOLUTE CAMERA POSITION AND ORIENTATION UNCERTAINTIES

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.062	0.059	0.096	0.036	0.034	0.010
Sigma	0.012	0.011	0.005	0.007	0.009	0.004

? OVERLAP

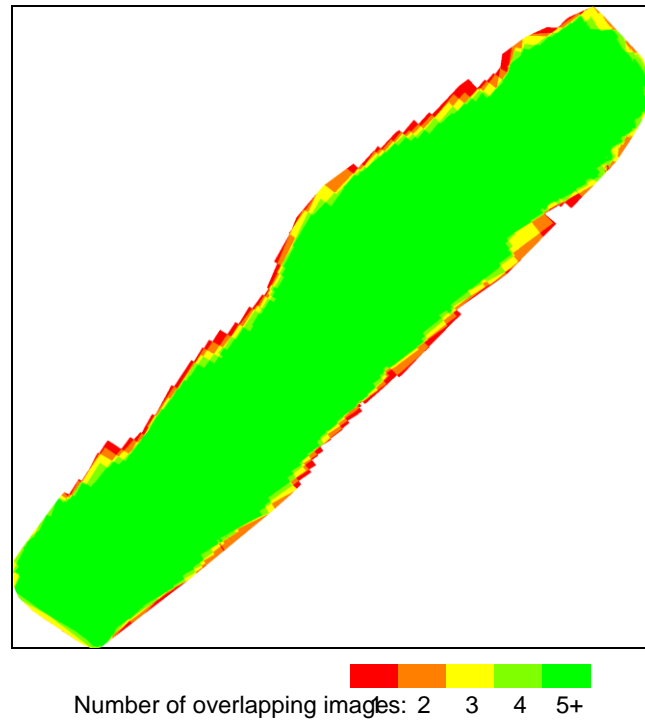


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap of over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment Details

Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	4661466
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	1205122



Mean Reprojection Error [pixels]	0.150
----------------------------------	-------

INTERNAL CAMERA PARAMETERS

CANONPOWERSHOTSX260HS_4.5_4000x3000 (RGB). SENSOR

DIMENSIONS: 6.198 [MM] x 4.648 [MM]



EXIF ID: CanonPowerShotSX260HS_4.5_4000x3000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	2904.350 [pixel] 4.500 [mm]	2000.000 [pixel] 3.099 [mm]	1500.000 [pixel] 2.324 [mm]	-0.013	0.005	-0.002	0.006	-0.003
Optimized Values	2985.231 [pixel] 4.625 [mm]	1997.167 [pixel] 3.094 [mm]	1501.320 [pixel] 2.326 [mm]	-0.022	0.002	0.005	-0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	3.156 [pixel] 0.005 [mm]	0.691 [pixel] 0.001 [mm]	0.686 [pixel] 0.001 [mm]	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000

The number of Automatic Tie Points (ATPs) per pixel averaged over all images of the camera model is color coded between black and white. White indicates that, in average, more than 16 ATPs are extracted at this pixel location. Black indicates that, in average, 0 ATP has been extracted at this pixel location. Click on the image to see the average direction and magnitude of the reprojection error for each pixel. Note that the vectors are scaled for better visualization.

? 2D KEYPOINTS TABLE



	Number of 2D Keypoints per Image	Number of Matched 2D Keypoints per Image
Median	39820	27406
Min	20096	12213
Max	55138	40596
Mean	39745	27913

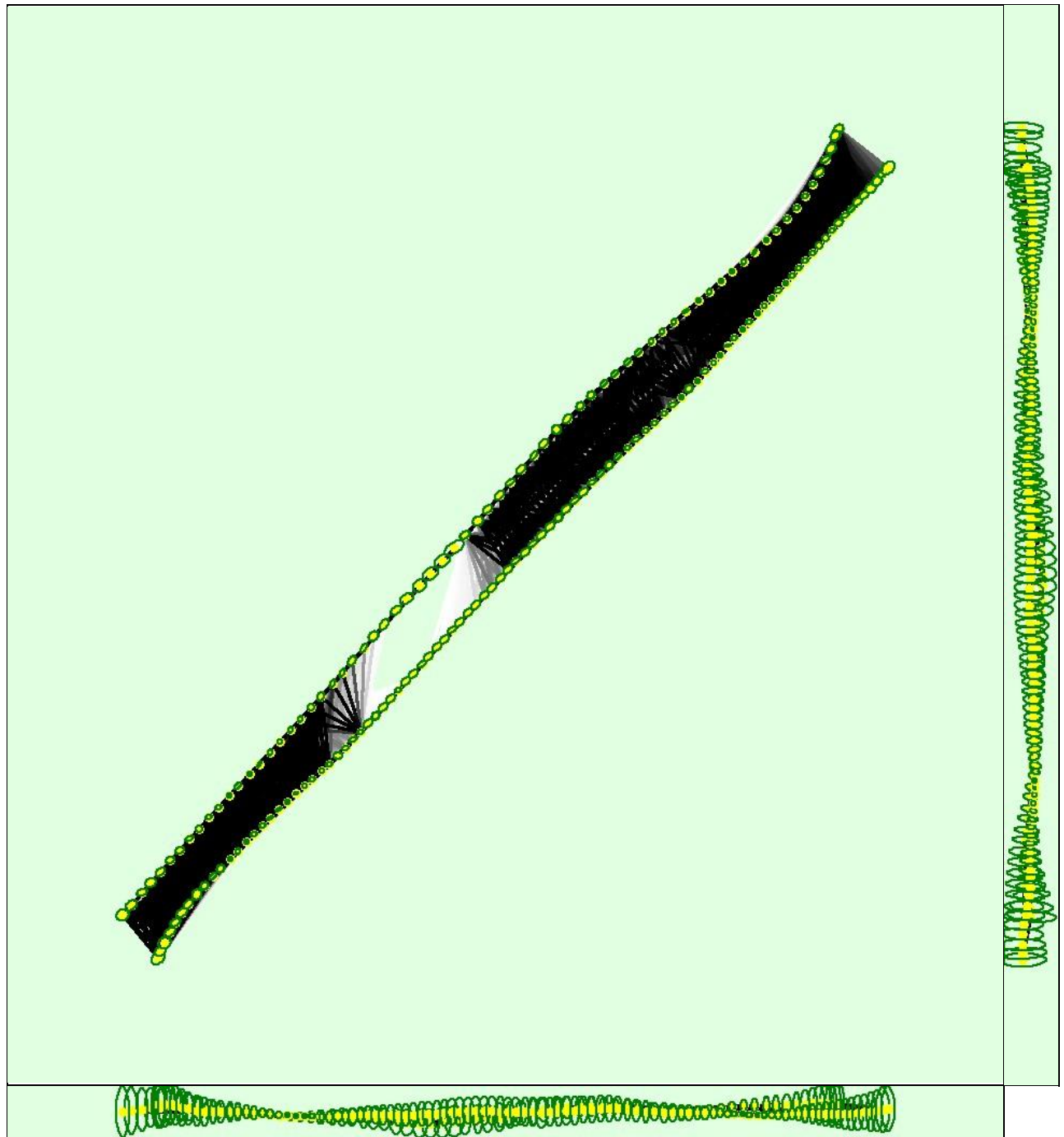
? 3D POINTS FROM 2D KEYPOINT MATCHES



	Number of 3D Points Observed
In 2 Images	563035
In 3 Images	218421
In 4 Images	121068
In 5 Images	79910
In 6 Images	56943
In 7 Images	41586
In 8 Images	31260
In 9 Images	22496
In 10 Images	18017
In 11 Images	12063
In 12 Images	8197
In 13 Images	6702
In 14 Images	5966
In 15 Images	4772
In 16 Images	4406
In 17 Images	3935
In 18 Images	2766

In 19 Images	2015
In 20 Images	963
In 21 Images	427
In 22 Images	145
In 23 Images	27
In 24 Images	2

? 2D KEYPOINT MATCHES



Uncertainty ellipses 50x magnified

Number of matches



222 444 666 888 1111 1333 1555 1777 2000

Figure 5: Computed image positions with links between matched images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images. Dark green ellipses indicate the relative camera position uncertainty of the bundle block adjustment result.

? RELATIVE CAMERA POSITION AND ORIENTATION UNCERTAINTIES

	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.064	0.060	0.162	0.071	0.073	0.025
Sigma	0.017	0.015	0.086	0.039	0.033	0.012

Geolocation Details

? GROUND CONTROL POINTS

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GRAV_0001 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	0.004	0.013	0.660	18 / 18
GRAV_0002 (3D)	0.020/ 0.020	-0.006	-0.005	0.003	0.468	14 / 14
GRAV_0003 (3D)	0.020/ 0.020	0.005	-0.012	-0.023	0.236	5 / 5
GRAV_0004 (3D)	0.020/ 0.020	-0.008	0.008	0.002	0.404	7 / 7
GRAV_0005 (3D)	0.020/ 0.020	-0.001	-0.000	-0.001	0.674	18 / 18
GRAV_0006 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.000	-0.003	0.537	21 / 21
GRAV_0007 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.015	0.003	0.657	17 / 17
GRAV_0008 (3D)	0.020/ 0.020	0.006	0.007	-0.001	0.661	16 / 16
GRAV_0010 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.009	-0.001	0.209	10 / 10
Mean [m]		-0.000512	-0.000472	-0.000881		
Sigma [m]		0.005204	0.008328	0.009035		
RMS Error [m]		0.005229	0.008342	0.009077		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of calibrated images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Initial Processing Details

System Information

Hardware	CPU: Intel(R) Core(TM) i7-4790K CPU @ 4.00GHz RAM: 32GB GPU: NVIDIA GeForce GTX 680 (Driver: 21.21.13.7290), Intel(R) HD Graphics 4600 (Driver: 20.19.15.4531)
Operating	Windows 10 Pro, 64-bit

System	
--------	--

COORDINATE SYSTEMS

Ground Control Point (GCP) Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S
Output Coordinate System	SIRGAS 2000 / UTM zone 22S

PROCESSING OPTIONS

Detected Template	No Template Available
Keypoints Image Scale	Full, Image Scale: 1
Advanced: Matching Image Pairs	Aerial Grid or Corridor
Advanced: Matching Strategy	Use Geometrically Verified Matching: no
Advanced: Keypoint Extraction	Targeted Number of Keypoints: Automatic
Advanced: Calibration	Calibration Method: Standard Internal Parameters Optimization: All External Parameters Optimization: All Rematch: Auto, yes Bundle Adjustment: Classic

Point Cloud Densification details

Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Matching Window Size	7x7 pixels
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Advanced: Limit Camera Depth Automatically	no
Advanced: Point Cloud Classification (Beta)	yes Minimum Object Length [m]: 0.1 Maximum Object Length [m]: 400 Minimum Object Height [m]: 0.1

RESULTS

Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	12194044
Average Density (per m ³)	124.34

DSM, Orthomosaic and Index Details

Processing Options

DSM and Orthomosaic Resolution	1 x GSD (2.99 [cm/pixel])
DSM Filters	Noise Filtering: yes Surface Smoothing: yes, Type: Sharp
Raster DSM	Generated: yes Method: Inverse Distance Weighting Merge Tiles: yes
Orthomosaic	Generated: yes Merge Tiles: yes GeoTIFF Without Transparency: yes Google Maps Tiles and KML: yes
Grid DSM	Generated: yes, Spacing [cm]: 100
Contour Lines Generation	Generated: yes Contour Base [m]: 0 Elevation Interval [m]: 0.5 Resolution [cm]: 100 Minimum Line Size [vertices]: 20
Index Calculator: Reflectance Map	Generated: yes Resolution: 1 x GSD (2.99 [cm/pixel]) Merge Tiles: yes
Index Calculator: Indices	red, green, blue, grayscale
Index Calculator: Index Values	Point Shapefile Grid Size [cm/grid]: 200 Polygon Shapefile [cm/grid]: 400

ANEXO B



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

SUMÁRIO DO PROCESSAMENTO DO MARCO: 1C_ZKSG

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2016/09/17 14:03:00,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2016/09/17 17:13:30,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_LITE NONE
Órbitas dos satélites: ¹	FINAL
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	15,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	2,000
Sigma da portadora(m):	0,015
Altura da Antena ³ (m):	1,463
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	1,09 GPS 1,22 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,76 GPS 0,99 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) ⁴	-25° 49' 56,5028"	-49° 07' 49,6724"	900,38	7141548.381	687384.266	-51
Na data do levantamento ⁵	-25° 49' 56,4965"	-49° 07' 49,6738"	900,38	7141548.575	687384.230	-51
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,003	0,010	0,014			
Modelo Geoidal	MAPGEO2015					
Ondulação Geoidal (m)	3,37					
Altitude Ortométrica (m)	897,01					

PRECISÃO ESPERADA PARA UM LEVANTAMENTO ESTÁTICO (METROS)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,450	1,000	0,030	0,050
Após 2 horas	0,300	0,800	0,015	0,025
Após 4 horas	0,200	0,500	0,006	0,015
Após 6 horas	0,180	0,400	0,004	0,010

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCAN).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário.
Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181.
Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan) Processamento autorizado para uso do IBGE.

1

Processado em: 11/10/2016 23:19:40

Desvio Padrão e Diferença da Coordenada a Priori

1C_Z261o.160

