

---

---

# IMPACTO DOS PONTOS DE APOIO NA ACURÁCIA POSICIONAL DE AEROLEVANTAMENTOS

---

---

**Igor Carnevale**

**Diego Tatsuo Nakamura**

**Ricardo Pinheiro Mattos**

**Sergio Vicente Denser Pamboukian**

**Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)**

## Resumo

Os avanços na tecnologia promoveram mudanças em diversas áreas. Na topografia, esse panorama não foi diferente, pois também houve a promoção da eficiência e digitalização dos processos. Na tecnologia recém-implantada na topografia, utilizam-se Aeronaves Remotamente Pilotadas em conjunto do *Global Navigation Satellite System* (GNSS) para a realização de levantamentos aerofotogramétricos. Porém, essa tecnologia ainda possui limitações quanto à sua acurácia quando comparada com métodos tradicionais. Apoiando os avanços tecnológicos e conhecendo suas limitações, o objetivo deste artigo é realizar um estudo sobre o impacto dos pontos de apoio na acurácia posicional desse tipo de levantamento, considerando fatores como a quantidade de pontos e a sua distribuição no terreno, para o melhor entendimento da comunidade científica, visto que esse tema é pouco abordado pela comunidade. Para realizar o experimento, fez-se um aerolevanteamento no *campus* de Alphaville da Universidade Presbiteriana Mackenzie, utilizando-se de dois voos cruzados com altitude de 54 metros e 44 pontos de apoio. Para o processamento dos dados obtidos, adotou-se o *software* Agisoft Metashape Pro apoiado por *scripts* em *Python* para a automatização dos processos. Entre os principais resultados obtidos, é notório que, a partir da utilização de três pontos de controle, o erro total do projeto é reduzido de

maneira relevante, principalmente quando distribuídos de maneira dispersa, abrangente e homogênea. Conclui-se que, quando se realiza a distribuição dos pontos de apoio, é necessário atentar-se para a dispersão, abrangência e homogeneidade dos pontos, além das possíveis interferências durante a coleta.

**Palavras-chave:** Imagens adquiridas por *drones*. Topografia de alta resolução. Mapeamento digital.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A topografia teve seu início com o processo de sedentarização dos povos. Conforme as civilizações se estabeleciam, necessidades como demarcação territorial, práticas agrícolas e construção de moradias surgiam, de modo que se tornou imprescindível a criação de instrumentos e técnicas que auxiliassem nessas necessidades.

Os primeiros registros da topografia datam de 3000 a.C., época em que os babilônios e egípcios utilizavam cordas para medir as distâncias. Um dos primeiros equipamentos foi desenvolvido em 560 a.C. e ficou conhecido como Gnômon, uma estrutura que permitia, através da incidência do sol, a definição da direção norte e o cálculo do raio da Terra. Após isso, o próximo avanço foi a Dioptra, um equipamento capaz medir ângulos horizontais e verticais, remetendo aos princípios do teodolito. Logo após, surgiu o Chorobates, o equipamento que antecedeu o nível. Durante anos, até 1720, foram desenvolvidas tecnologias que corroboraram a criação do teodolito, uma ferramenta que permitia medir ângulos em qualquer direção (MEDINA ENGENHARIA, 2019).

Com o passar dos anos, houve uma evolução significativa dos equipamentos que se tornaram cada vez mais sofisticados: de mecânicos passaram a ser eletrônicos. Em 1943, foi apresentado o primeiro Medidor Eletrônico de Distância (MED) que substituiu a necessidade do uso de trenas para as medições entre pontos (MEDINA ENGENHARIA, 2019). A partir desse momento, todos esses equipamentos se condensaram em um único instrumento, a estação total, um equipamento capaz de medir ângulos e distâncias tanto horizontais como verticais.

A topografia é dividida em duas áreas: topologia e topometria. De acordo com Vêras Junior (2003 *apud* COELHO JUNIOR *et al.*, 2014), a topologia é definida como a área da topografia que se preocupa com a forma da superfície terrestre e as leis que a moldam. Já a “Topometria é um ramo da Topografia que tem como objetivo as

medições de elementos característicos de uma determinada área” (VÉRAS JUNIOR, 2003 *apud* COELHO JUNIOR *et al.*, 2014). Esse ramo da topografia é dividido em três planos de estudo: planimétrico, altimétrico e planialtimétrico.

O estudo planimétrico tem como objetivo a obtenção das coordenadas bidimensionais, X e Y, considerando somente os ângulos e as distâncias horizontais. Já o altimétrico apresenta o desnível em relação a um plano de referência, considerando somente os ângulos e as distâncias verticais. Por último, o planialtimétrico tem como objetivo a obtenção dos dados planimétricos e altimétricos, considerando as distâncias e os ângulos horizontais e verticais, a localização geográfica e a posição da área de estudo.

Com os avanços tecnológicos da segunda metade do século XX, a topografia adotou novos equipamentos como alternativa aos convencionais, que possibilitaram a criação da topografia moderna. O precursor dessa mudança foi o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que se mostrou uma ferramenta eficaz e com um ótimo custo-benefício, já que possibilitou a economia de tempo e mão de obra durante a realização das tarefas. Outra tecnologia recente é o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft* – RPA) para a realização do levantamento aerofotogramétrico.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2021), o levantamento aerofotogramétrico é um método de mapeamento de superfície, que é realizado por uma aeronave, na qual é acoplada uma câmera que cobre toda área a ser mapeada. Atualmente, o processo que antes era realizado por grandes aeronaves e tinha um custo elevado passou a ser realizado por drones que permitiram a redução do custo, tempo, entre outros benefícios.

A aerofotogrametria com *drones* pode ser utilizada no levantamento planialtimétrico de algumas áreas. Para isso, são necessários, além do *drone*, um GNSS geodésico e um *software* para o processamento das imagens obtidas. O levantamento topográfico com uso de *drones* pode ser dividido em três fases: pré-voos, voos e pós-voos. A fase pré-voos consiste basicamente no planejamento do voo, na regulamentação da aeronave e do piloto, na solicitação de acesso ao espaço aéreo e no levantamento e na marcação de pontos de apoio com o uso de equipamento GNSS. Já a fase voos consiste na obtenção das imagens por meio do *drone*. E, por último, há a fase pós-voos, que é realizada em um *software* especializado como o Agisoft Metashape, em que ocorre o pós-processamento das imagens e a geração de produtos (PAMBOUKIAN, 2020).

A Indústria 4.0 pode ser definida como a era da indústria que potencializa a capacidade de produção, a eficiência e a competitividade com o uso de artifícios tecnológicos que interagem entre si. Um exemplo disso é o uso de RPA, protagonista da Indústria 4.0, permitindo que a captação de dados ocorra de maneira rápida e segura (COSTA *et al.*, 2019). Com isso, essa tecnologia passou a ser implementada em

diversos campos, como levantamentos topográficos, agricultura de precisão, planejamento, análise, licenciamento e acompanhamento de obras, monitoramento de linhas de transmissão de energia, loteamento urbano e cadastro imobiliário, e volumetria para mineração (HORUS AERONAVES, 2019).

A utilização de *drones* é algo sólido no mercado da topografia porque possibilita a redução no tempo de operação e no tamanho da equipe, porém o método depende de uma pessoa capacitada, pois, se o levantamento ocorrer de forma inadequada, os resultados obtidos serão imprecisos e sem acurácia. Para aumentar a acurácia e validar os resultados desse tipo de levantamento, é necessária a utilização de pontos de apoio coletados por um GNSS geodésico, pois a tecnologia embarcada em RPAs, sozinha, não possibilita uma boa acurácia posicional.

Dessa forma, surge a necessidade de se entender a maneira adequada para realizar o levantamento dos pontos de apoio, considerando a importância deles para a acurácia. Deve-se estudar a quantidade de pontos de apoio, assim como sua distribuição, que possibilitam a obtenção de uma boa acurácia posicional do projeto.

O objetivo deste trabalho é realizar um estudo do impacto dos pontos de apoio na acurácia posicional de um levantamento aerofotogramétrico apoiado por RPA e GNSS, considerando fatores como a quantidade de pontos e a sua distribuição no terreno.

---

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Em todo projeto, é recomendada a análise de todas as possibilidades de execução das tarefas e dos equipamentos a serem utilizados, além de considerar o custo de execução, o tempo empregado e a facilidade para elaboração do levantamento. No âmbito topográfico, o uso de RPAs para investigação de dados apresenta um custo inicial baixo e praticidade na coleta de dados quando comparada a outros métodos e equipamentos tradicionais, como a utilização da estação total, que, por sua vez, apresenta maior precisão e acurácia que o *drone*.

Para aumentar a acurácia dos *drones*, alguns parâmetros durante a operação podem ser cruciais, como as sobreposições longitudinais e laterais, que indicam o quanto uma imagem está sobreposta com a imagem adjacente. A utilização de pontos de apoio é outro parâmetro importante, pois eles aumentam e validam a acurácia posicional do projeto. Esses pontos de apoio podem ser definidos como pontos de controle e verificação. Os pontos de controle (PC) são utilizados para orientar os *softwares* quanto à

localização dos pontos no solo ou no ar. Os pontos de verificação (PV) servem para validar a qualidade do projeto. O último parâmetro que auxilia na acurácia e precisão posicional é a altitude de voo do *drone*, que, em conjunto com a câmera do *drone*, define a precisão do levantamento. Como o tema deste artigo não é muito citado na literatura de forma ampla, foi necessário buscar, nos estudos existentes, informações quanto à forma de utilização desses parâmetros para possibilitar o entendimento do atual panorama do assunto abordado.

Lima (2018) realizou uma série de estudos comparativos entre o método convencional e o apoiado por RPA. Esses estudos foram realizados por um *drone* Phantom 4 Pro em um voo na altitude de 50 metros (resolução de 1,5 cm/pixel) com sobreposição longitudinal de 75% e lateral de 60%, e o uso de 16 pontos de apoio (dez de controle e seis de verificação). A primeira análise comparativa foi quanto ao custo de aquisição do equipamento e do *software* em 2018, sendo o valor da RPA de R\$ 19.725,00 contra R\$ 28.500,00 da topografia convencional. O segundo estudo comparativo foi quanto ao tempo médio gasto nas atividades, e, como esperado, a RPA obteve um resultado quatro vezes menor que o tempo do levantamento convencional. Ainda segundo Lima (2018), o tamanho da equipe para um levantamento aerofotogramétrico é de três pessoas contra uma equipe de cinco pessoas para o levantamento tradicional. O método utilizado por Lima (2018) com 16 pontos de apoio obteve uma acurácia de 2,96 cm para a planimetria e 5,7 cm para altimetria. Após todos esses estudos comparativos, ficam evidentes as principais vantagens do uso de RPAs. Já quanto à acurácia posicional do projeto, fica evidente que o método utilizado não favoreceu a acurácia mesmo utilizando-se de 16 pontos de apoio.

Jesus e Oliveira (2018) também realizaram análises comparativas quanto ao custo com resultados semelhantes ao de Lima (2018). O voo realizado pelos autores utilizou um Phantom 4 Pro em um voo com altitude de 70 metros e 75% de sobreposição longitudinal e lateral, e apoiado por 13 pontos. Ainda segundo Jesus e Oliveira (2018), os Modelos Digitais de Terreno (MDT) gerados a partir de GNSS e RPA são válidos quando comparados com a estação total, porém, para uma boa precisão do modelo gerado pela RPA, são necessárias regiões com pouca interferência no relevo. Jesus e Oliveira (2018) concluíram que a topografia convencional é mais lenta, porém versátil, já o GNSS é indicado em regiões de pequeno ou médio porte com pouca interferência, e as RPAs são indicadas em áreas grandes de vegetação rasteira.

Segundo Saraiva (2019), quando se aumenta de maneira sucessiva o número de PC em um aerolevanteamento com o uso de RPA, é nítido que, a partir dos três pontos, a redução da raiz do erro médio quadrático não é significativa. Para Saraiva (2019) chegar a essa conclusão, realizou-se um voo com Parrot Anafi Work em uma altitude de 120 metros com sobreposição de 75% longitudinal e 80% lateral em uma área de 24.800 m<sup>2</sup> com baixa declividade e pouca vegetação e árvores.

Ainda sobre acurácia, Rebelo (2019), a partir de voo cruzado com altitude de 66 metros e sobreposições de 80% para longitudinal e lateral, concluiu que os resultados comparativos entre o método convencional e o com o uso de RPA superaram as expectativas, os valores obtidos em seu estudo, que foi realizado em local plano, sem benfeitorias e com o uso de 30 PV (12 mm e 28 mm para acurácia planimétrica e 47 mm para a acurácia altimétrica). Apoiando essa visão, Lima (2018) concluiu que os resultados de acurácia por meio da topografia convencional são maiores que os obtidos com o uso de RPA, porém, em termos de acurácia, ambos os métodos podem ser utilizados.

Um estudo realizado por Campos *et al.* (2019), que comparou os resultados dos valores de uma determinada área por meio do uso de estação total, *laser scanner* e RPA, conclui que, dentre as três alternativas, o *laser* foi o mais eficiente e com resultados muito próximos do levantamento realizado pelo método convencional. A diferença encontrada no valor da área foi de 0,008 m<sup>2</sup> para o *laser* e 2,696 m<sup>2</sup> para o *drone* em uma área de 2.312,10 m<sup>2</sup>. Pode-se concluir que o *drone* obteve valores razoáveis para o tempo necessário para a realização do estudo, visto que o trabalho não evidencia o uso de pontos de apoio durante o processo.

Rodrigues e Gallardo (2018) apresentaram algumas vantagens da aerofotogrametria por RPA, por meio de um voo com um Phantom 4 Advanced em uma altitude de 220 metros com sobreposições de 80% para longitudinal e 70% para lateral, e o uso de 12 pontos de apoio (seis de controle e seis de verificação). Segundo Rodrigues e Gallardo (2018), as principais vantagens do aerolevantamento são: o maior detalhamento da estrutura devido ao modelo tridimensional, a possibilidade de estudar a direção de escoamento dos fluidos, o menor tempo de aquisição em campo, principalmente em áreas de grandes extensões, o valor de execução do serviço e a possibilidade de execução em locais insalubres.

Portanto, a topografia apoiada com o uso de RPAs tem diversas vantagens quando comparada com a convencional, pois possui benefícios como tempo de aquisição em campo, custo de implantação, facilidade de operação, possibilidade de estudo em áreas insalubres e geração de diversos produtos como MDT, Modelo Digital de Superfície (MDS), curvas de nível, ortofoto e outros. Já as desvantagens são a precisão centimétrica e dificuldade em locais de relevo com interferências.

## 3 METODOLOGIA

O levantamento iniciou-se com a obtenção de informações básicas do terreno, bem como o planejamento do voo e a marcação dos pontos de apoio. Em seguida, foi realizado o levantamento com o uso da RPA e do GNSS. Após finalizado o levantamento, todas as imagens e dados obtidos pelos levantamentos foram processados em *softwares* para a geração dos produtos.

### 3.1 Materiais e equipamentos utilizados

Os equipamentos utilizados para desenvolver o estudo foram:

- uma RPA marca DJI, modelo Phantom 4 Pro;
- dois GNSSs da marca Stonex, modelo S800, sendo um utilizado como base e outro em modo Rover;
- pontos de apoio impressos em folha sulfite e palitos de churrasco para fixação ao solo;
- um computador com processador Intel Core I9 9900k, 16 *gigabytes* (GB) de memória RAM e placa de vídeo RTX 2080 8 GB GDDR6, para processamento dos dados;
- *software* Agisoft Metashape Professional versão 1.7.4 *build* 12950 (64 *bits*), para o processamento dos dados;
- *software* Pix4DCapture para o planejamento e a realização do voo.

### 3.2 Área de estudo e solicitação do espaço aéreo

A área selecionada para o desenvolvimento do estudo está localizada no município de Barueri, no *campus* Alphaville da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM). O local estudado possui aproximadamente 22.500 m<sup>2</sup> (Figura 1). O terreno estudado é irregular com grandes variações de altitude e também possui pontos de vegetação alta e rasteira. Quanto às edificações presentes na área de estudo, havia uma piscina coberta, alguns painéis solares, dois ginásios poliesportivos, uma enfermaria e dois armazéns.



**Figura 1** Área de interesse – campus Alphaville

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

Por causa da presença de um heliporto próximo à área de estudo, a autorização do Departamento de Controle do Espaço Aéreo (Decea) limitou a altitude de voo para 180 ft (54 metros) relativos ao local de decolagem fornecido na solicitação.

Com a solicitação, o analista do Decea encaminhou algumas orientações quanto ao uso da RPA que deveriam ser seguidas por causa da presença de um heliporto nas proximidades. O intuito dessas orientações foi informar que o voo não teria prioridade de uso no espaço aéreo, e, caso se visualizasse alguma aeronave nas proximidades, a missão deveria ser abortada.

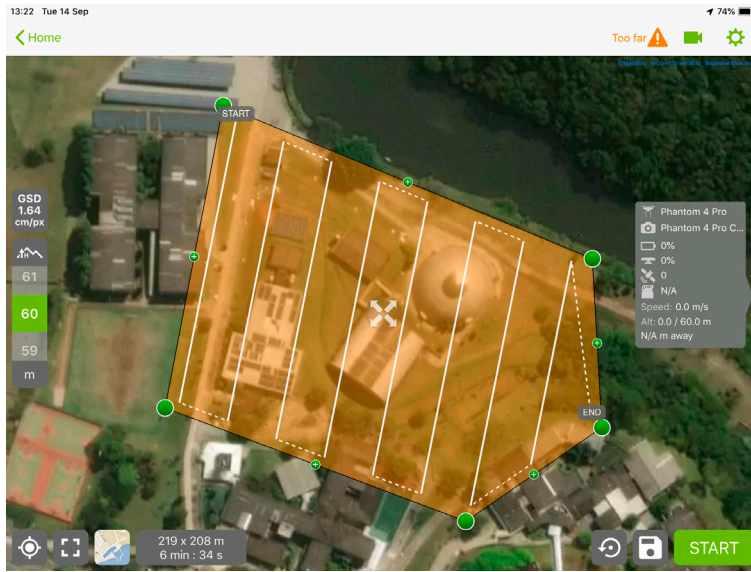
### 3.3 Planejamento do voo

Para o estudo da área de interesse, foram realizados dois voos cruzados entre si, ou seja, o primeiro voo em uma direção e o outro perpendicular a essa direção. Utilizam-se voos cruzados para melhorar a qualidade do processamento, já que, em razão da maior quantidade de imagens, existem mais sobreposições.



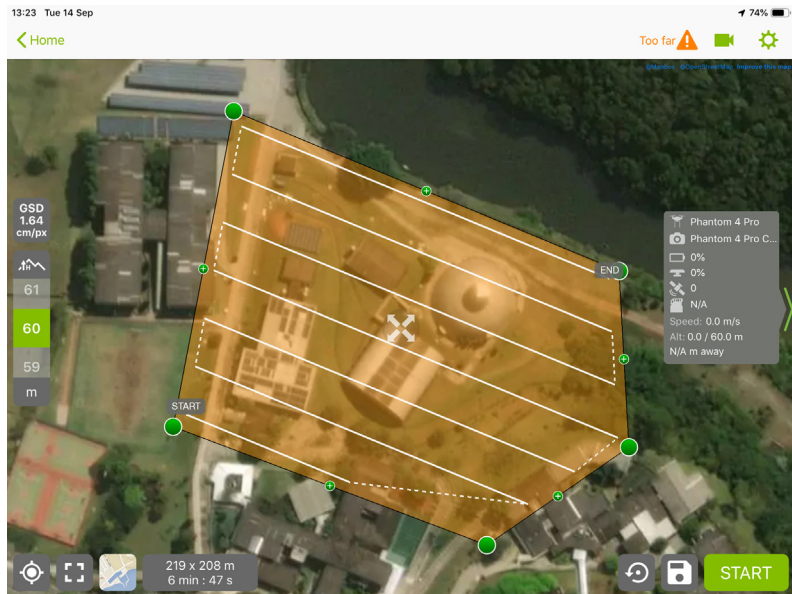
O plano de voo foi realizado no aplicativo Pix4DCapture desenvolvido pela Pix4D para realizar a captura das imagens de maneira automatizada. No aplicativo, é realizada uma configuração relacionada ao modelo da RPA para que o aplicativo funcione de maneira correta com o modelo utilizado.

Para obter bons resultados nas extremidades, utiliza-se uma área de voo maior que a área de interesse. A área de voo utilizada para cada um dos voos está representada nas figuras 2 e 3.



**Figura 2** Imagem da área e do sentido do voo 1

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 3** Imagem da área e do sentido do voo 2

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como o objetivo dessa captura era o mapeamento topográfico, foram realizados voos com a câmera perpendicular à RPA, ou seja, 90 graus de inclinação e quanto à sobreposição 70% para lateral e 80% para a frontal.

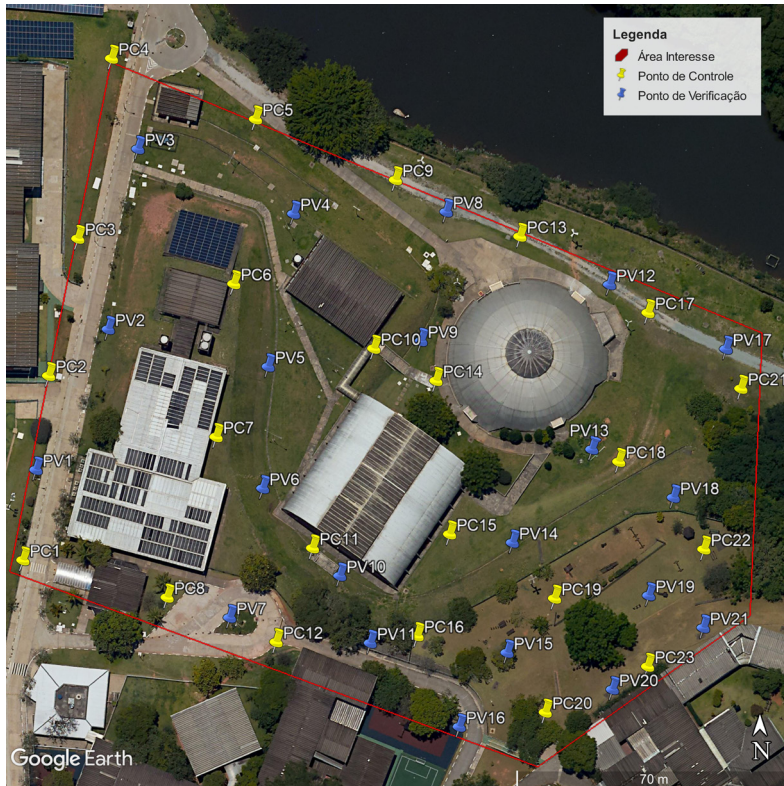
A altitude recomendada para voos com objetivos topográficos são 80 metros, porém, por causa das limitações da solicitação do Decea, o voo foi realizado com 54 metros de altitude, que, segundo o aplicativo utilizado, o *Ground Sample Distance* (GSD) aproximado seria de 1,64 *cm/pixel*.

Seguindo todas as orientações dos órgãos regulamentadores, foram realizados os dois voos, que em média levaram seis minutos e 40 segundos. O primeiro voo gerou 101 imagens com resolução de 5472x3648 *pixels* com 72 dpi, já o segundo voo gerou 117 imagens com a mesma resolução.

### 3.4 Locação dos pontos de apoio

Para a locação dos pontos, realizou-se um estudo prévio do local por meio do Google Earth Pro para estimar a localização dos pontos de apoio (PC e PV) (Figura 4). Para facilitar no momento do posicionamento dos pontos, utilizou-se o aplicativo

de celular My Maps desenvolvido pelo Google. Esse aplicativo foi descontinuado, e atualmente é disponibilizada uma versão *web*.



**Figura 4** Estimativa da localização dos pontos de apoio

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

Para o alvo, utilizaram-se folhas do tamanho A3, impressas com o padrão de alvo e um furo no centro para a obtenção das coordenadas com o GNSS. Para a fixação dos alvos, foram utilizados espetos de bambu.

### 3.5 Levantamento dos pontos de apoio com GNSS

Para o levantamento dos pontos de apoio, adotaram-se dois GNSSs Stonex S800 e um *tablet* para a configuração e utilização dos aparelhos. O processo iniciou-se com

a montagem da base no momento da chegada da equipe ao local de estudo. Para isso, foi escolhido um ponto com fácil localização e longe de possíveis interferências.

O processo de configuração da base foi realizado via *bluetooth* com o uso do aplicativo Stonex Cube-a, fornecido pela fabricante do GNSS. Para a configuração do projeto, utilizou-se o sistema de referência SIRGAS 2000/UTM zone 23S. Para o modo de operação do GNSS, como seriam utilizados dois aparelhos de GNSS e o objetivo era a maior precisão possível, optou-se pelo método *Real Time Kinematic* (RTK – Cinemático em Tempo Real), no qual se usam dois receptores que coletam dados continuamente. Um dos receptores, denominado base, fica alocado sobre um ponto de coordenadas já conhecidas. O outro receptor, denominado Rover, é transportado pelos pontos de interesse do usuário, coletando dados e coordenadas em tempo real.

Definido um dos GNSSs como base, foi necessária sua configuração inicial. Para isso, como o local de estudo não possuía um local com coordenadas conhecidas, definiu-se a coordenada da base por meio dos dados obtidos pelo GNSS e da altitude da antena em 1,646 metro. Para aprimorar a acurácia, manteve-se a base nessa posição por seis horas, e posteriormente suas coordenadas foram corrigidas de acordo com o relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) do IBGE. Quanto à configuração do modo base, utilizaram-se um limite PDOP de 3,5, modo diff. em RTCM32, ângulo de corte em cinco graus, *datalink* com protocolo TrimTalk 450S(T) e sistemas de satélites GPS, GLONASS, BEIDOU e Galileo. Para o Rover, utilizaram-se na sua configuração inicial as mesmas configurações da base, porém em modo Rover e altura vertical de 1,8 metro. Após a configuração do Rover, foi iniciada a coleta dos pontos de apoio.

Para a coleta das coordenadas dos pontos de apoio, também foi utilizado o aplicativo Stonex Cube-a. O *tablet* fica conectado através do *bluetooth* com o Rover enquanto é realizado o processo de coleta, que pode ser descrito pelo posicionamento e nivelamento do Rover sobre o centro do ponto de apoio com o bastão e a captura dos dados com o *tablet*.

Para exportar os dados, adotaram-se dois processos: o primeiro exportava os dados obtidos pelo aplicativo do Rover em formato CSV e KML e o segundo fazia isso através da conexão *wi-fi* da base para exportar os arquivos brutos em formato Rinex 2.10 para o processamento posterior no PPP do IBGE. Após o processamento do PPP pelo IBGE, calcularam-se os erros nas coordenadas da base no momento da coleta e aplicaram-se as correções nas coordenadas dos pontos de apoio obtidos pelo Rover para a inserção das coordenadas no Agisoft Metashape.

### 3.6 Processamento das imagens e dos dados do GNSS

Após o levantamento em campo, foram descarregadas as imagens obtidas pelos dois aerolevantamentos e organizadas por voo. Também foram descarregados os dados de ambos os GNSSs, sendo da base os dados brutos para o processamento do PPP e do Rover os dados obtidos pelo aplicativo Stonex Cube-a. No Agisoft Metashape, importaram-se as imagens e corrigiram-se os dados do GNSS.

#### 3.6.1 Ajuste do sistema de referência do projeto

As imagens obtidas pela RPA são georreferenciadas por meio de coordenadas geográficas WGS84 e os pontos de apoio obtidos pelos GNSSs são em SIRGAS 2000 Projeção UTM zona 23S, então foi necessário proceder à compatibilização desses dados. Como para projetos cartográficos tem-se que utilizar a projeção SIRGAS 2000, então adotamos o sistema SIRGAS 2000 para o nosso projeto.

Com as coordenadas dos pontos de apoio e das imagens da RPA compatibilizadas, foram ajustadas as configurações de referência do projeto. Para as configurações de acurácia da câmera, definiram-se os valores de 10 metros para a localização das fotos e 2 graus para o erro médio de rotação, já para os marcadores (pontos de apoio) foi definido o valor de 2 cm para sua acurácia. Já para a precisão para as imagens, foram definidos os valores para a acurácia do marcador em 0,5 *pixel* e 1 *pixel* para a acurácia dos pontos de amarração.

#### 3.6.2 Análise e primeiro alinhamento das imagens

Para auxiliar no processo de verificação das imagens, o *software* Agisoft Metashape possui uma ferramenta que estima a qualidade das imagens de maneira automática, e, como parâmetro para a qualidade das imagens, valores abaixo de 50% devem ser descartados, pois prejudicam a qualidade do projeto. As qualidades das piores imagens obtidas durante o projeto foram de aproximadamente 81%, portanto nenhuma das imagens precisou ser descartada.

A fim de evitar possíveis erros na hora de gerar os pontos de amarração em regiões homogêneas, é importada uma máscara na imagem para evitar essas regiões. A máscara aplicada no projeto foi por meio do método *From Alpha* e com operação *Replacement*.

O primeiro alinhamento das imagens permite o posicionamento das imagens de maneira mais assertiva, para que a pontaria dos pontos de apoio seja otimizada e facilitada. No projeto foi utilizada a qualidade baixa com o limite de 40.000 pontos-chave e limite de 10.000 pontos de amarração.

### 3.6.3 Pontaria dos pontos de apoio

O processo de pontaria dos pontos de apoio iniciou-se com a pontaria de três pontos distantes entre si. Esse processo é bem manual e repetitivo: consiste em filtrar as imagens pelo marcador e reposicionar o marcador na imagem; após ser reposicionado, o ponto recebe uma bandeira verde, confirmando que ele foi posicionado manualmente.

Após a realização do processo com os três primeiros pontos, faz-se uma pequena otimização das câmeras a fim de ajustar as suas configurações. Após a otimização, utilizam-se as ferramentas *Attach Markers* e *Refine Markers* para que o *software* ajude no processo de pontaria dos pontos de apoio restantes, porém o processo de verificação e correção da localização dos pontos foi realizado de maneira manual.

### 3.6.4 Segundo alinhamento das imagens e otimização das câmeras

Para esse projeto, adotaram-se, no segundo alinhamento, os mesmos parâmetros do primeiro, porém com a qualidade elevada. Como já existia outro alinhamento, utilizou-se também a opção de resetar os alinhamentos atuais.

Após o segundo alinhamento, foi necessário realizar uma otimização das câmeras para evitar possíveis distorções nas imagens causadas pelas lentes da câmera. Para essa otimização, utilizaram-se todos os parâmetros da categoria geral, como: distância focal ( $f$ ), coeficientes de distorção radial ( $k_1, k_2, k_3, k_4$ ), coeficientes de distorção tangencial ( $p_1, p_2$ ), coordenadas do ponto principal ( $c_x, c_y$ ), coeficientes de transformação de relação e inclinação ( $b_1, b_2$ ) e todos os parâmetros avançados desmarcados.

### 3.6.5 Relatórios com a acurácia posicional

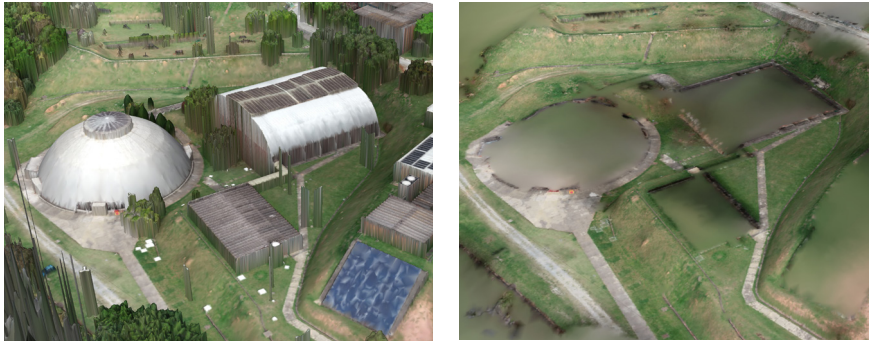
Para confirmar a qualidade do projeto, deve-se realizar uma análise da acurácia posicional. Para isso, o Agisoft Metashape gera um relatório com informações diversas do processamento, como o GSD, erros de posicionamento e valores estatísticos dos erros de posicionamento por meio do *Root-Mean-Square Error* (RMSE). Para criar o relatório com todas as informações, é necessário selecionar o projeto para definir um título, uma descrição e algumas opções visuais. Nesse projeto, as opções utilizadas para os títulos foram a quantidade de pontos estudados e os indicadores de páginas.

Esses relatórios são fundamentais para a verificação da qualidade do projeto, principalmente da acurácia posicional, pois é necessário obter o GSD, que representa a amostra de solo contida em cada *pixel* das imagens, para calcular os limites toleráveis de acurácia posicional. A acurácia posicional obtida após o processamento com todos os pontos de apoio foi de 2,24 cm para o erro planimétrico e de 2,64 cm para o erro altimétrico, resultando em um erro total de 3,46 cm. Para o levantamento ser consi-

derado bom, esses valores devem ser no máximo  $1,5 \times \text{GSD}$  para o erro planimétrico e  $3 \times \text{GSD}$  para o erro altimétrico e total; portanto, para um  $\text{GSD}$  de  $1,81 \text{ cm/pixel}$ , os valores deste estudo são considerados bons.

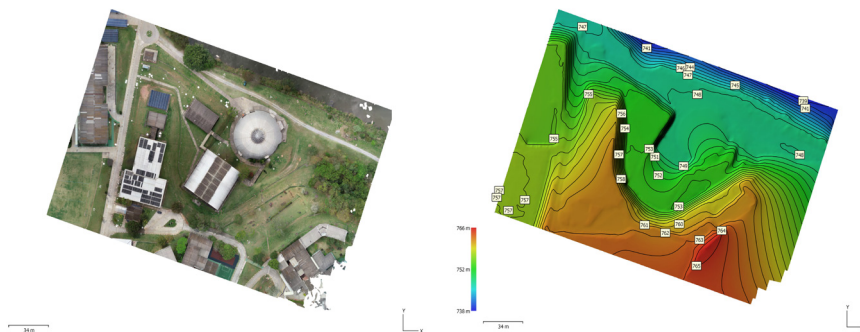
### 3.6.6 Produtos gerados

Com a finalidade de ilustrar o nível de detalhamento de um levantamento utilizando RPA, foram gerados alguns produtos utilizando todos os PC e PV. Os possíveis produtos gerados a partir de um aerolevamento utilizando RPA são: Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Terreno (Figura 5); ortomosaico e curvas de nível (Figura 6).



**Figura 5** Modelo Digital de Superfície e Modelo Digital de Terreno

Fonte: Elaborada pelos autores.



**Figura 6** Ortomosaico, Modelo Digital de Elevação e curvas de níveis

Fonte: Elaborada pelos autores.

### 3.6.7 Automação com Python

Para minimizar os possíveis erros e aumentar a produtividade, foram criados diversos *scripts* em *Python*, que realizavam as combinações de PC e PV e os processos dos itens 3.6.4 e 3.6.5 para cada combinação. Antes da implementação do *script*, foi necessário realizar os processos dos itens 3.6.1 a 3.6.3 com todos os pontos de apoio de maneira manual, e, depois, duplicou-se o *chunk*, que é a parte do projeto que contém todos os dados inseridos e os processamentos, pelo número de *scripts* necessários, nomeados de maneira sequencial. Os *scripts* automatizaram a remoção dos pontos de apoio, o segundo alinhamento de imagens, a otimização das câmeras e a geração dos relatórios. Para realizar o acionamento dos *scripts*, foi gerada uma tarefa sequencial no Agisoft Metashape. Com todos os relatórios prontos, automatizou-se também a extração dos dados da acurácia utilizando um código em *Python*. As discussões foram realizadas com base nos dados extraídos.

---

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para iniciar os estudos da influência dos pontos de apoio sobre os erros totais, realizaram-se dois estudos. O primeiro foi realizado mantendo-se uma base de cinco PV (7, 8, 9, 17 e 19) e alterando-se a quantidade de PC, assim como a sua distribuição pela área de interesse. Os PV utilizados nesse primeiro estudo foram escolhidos pela sua localização, onde todos estavam em áreas que favorecem a precisão da coleta: locais planos, com mato baixo, longe de estruturas urbanas, estruturas metálicas e corpos d'água.

Uma vez que a localização dos PV utilizados favoreceu a precisão, foi possível compreender a quantidade, assim como a distribuição dos PC a serem utilizados para um bom resultado. Os resultados do primeiro estudo, com foco nos PC, podem ser observados na Tabela 1.



TABELA 1

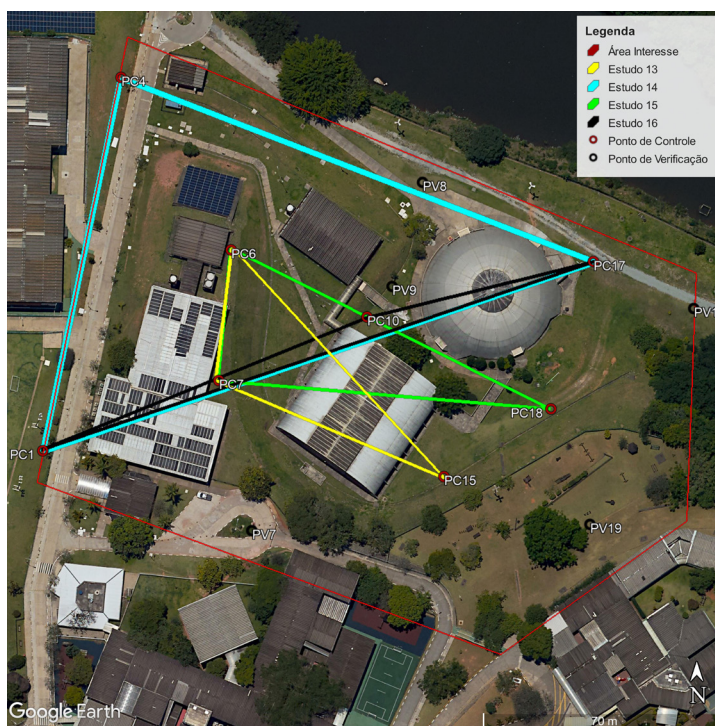
Erros obtidos no estudo sobre PC

Estudo	GSD	PC	Erro em X (cm)	Erro em Y (cm)	Erro em Z (cm)	Erro em XY (cm)	Erro total (cm)
1	1,4	6	2330,27	1549,15	2305,55	2798,22	3625,68
2	1,61	1	2306,19	1438,52	4118,43	2718,06	4934,50
3	1,4	6	2330,27	1549,15	2305,55	2798,21	3625,68
4	1,49	17	1186,02	1021,23	2313,46	1565,10	2793,14
5	1,2	17	1858,18	1406,72	643,80	2330,60	2417,89
6	1,49	18	1264,97	1955,13	3121,72	2328,66	3894,59
7	1,8	6,7	891,08	28,35	2971,74	891,53	3102,59
8	1,81	1,4	958,08	268,14	4419,78	994,90	4530,37
9	1,8	6,7	891,08	28,35	2971,74	891,53	3102,59
10	1,81	1,17	1,50	1,74	12,47	2,30	12,68
11	1,81	10,17	14,41	52,83	415,08	54,76	418,68
12	1,81	5,18	146,28	66,70	1661,15	160,77	1668,91
13	1,81	6,7,15	6,25	3,07	15,37	6,97	16,87
14	1,81	1,4,17	1,36	1,48	0,71	2,01	2,13
15	1,81	6,7,18	3,15	1,28	3,78	3,40	5,08
16	1,81	1,10,17	1,31	0,73	5,95	1,50	6,14
17	1,81	6,7,15,21	2,24	0,82	2,68	2,39	3,59
18	1,81	1,4,17,20	1,26	1,16	0,79	1,72	1,89
19	1,81	6,7,10,18	2,65	1,22	4,01	2,92	4,96
20	1,81	1,10,17,20	1,26	1,03	1,32	1,63	2,10
21	1,81	6,7,10,15,21	2,01	0,82	2,75	2,17	3,50
22	1,81	1,4,8,17,20	1,33	0,75	1,09	1,53	1,88
23	1,81	1,4,10,17,20	1,25	1,03	1,24	1,62	2,05
24	1,81	6,7,10,15,21	1,92	0,69	1,63	2,04	2,61
25	1,81	6,7,10,15,21,22	1,99	0,86	2,44	2,17	3,27
26	1,81	6,7,8,10,15,21,22	1,78	0,81	2,45	1,96	3,14
27	1,81	6,7,8,10,15,18,21,22	1,82	0,85	2,63	2,02	3,32
28	1,81	6,7,8,10,15,18,19,21,22	1,79	0,94	2,45	2,02	3,18
29	1,81	6,7,8,10,11,15,18,19,21,22	1,70	0,80	2,70	1,87	3,29
30	1,81	6,7,8,10,11,15,16,18,19,21,22	1,57	0,78	2,40	1,76	2,97
31	1,81	18,19,20,21,22,23	2,98	5,67	23,23	6,41	24,10

Fonte: Elaborada pelos autores.

Quando se analisam os dados da Tabela 1, percebe-se que, a partir do 13º estudo, ou seja, a partir de três PC, o erro total diminui de metros para centímetros. Porém, para aumentar a acurácia do processamento, é necessário se atentar ao posicionamento e à qualidade dos pontos utilizados, uma vez que, no estudo 13, tem-se um erro próximo a 16 cm, e, no estudo 14, que utiliza a mesma quantidade de pontos, tem-se um erro de aproximadamente 2 cm.

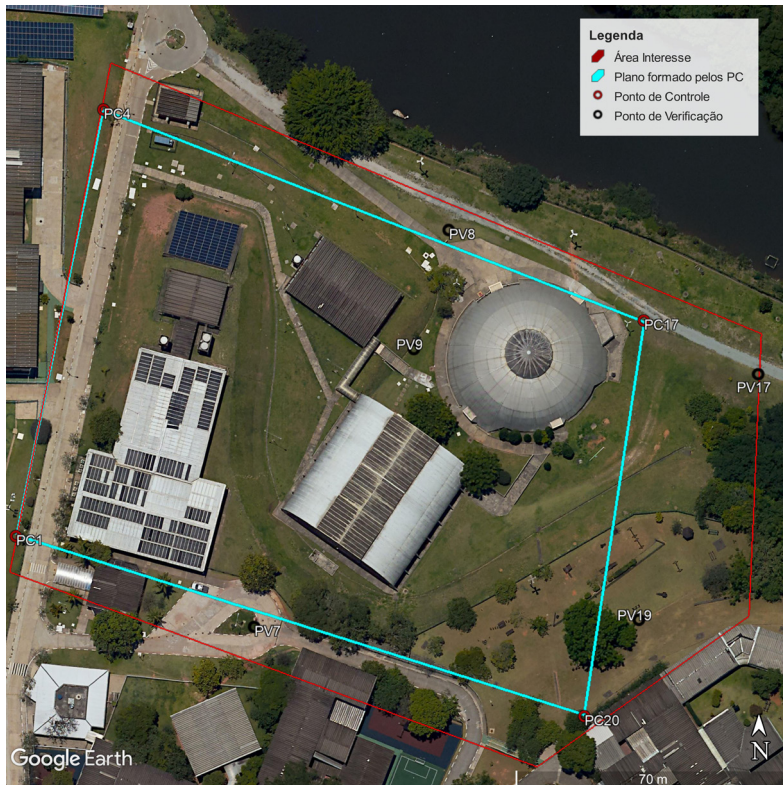
Em relação à qualidade da coleta, foi realizada uma análise comparativa entre o estudo 13 (Figura 7) que utiliza PC 6, 7 e 15 e o estudo 15 (Figura 7) que utiliza PC 6, 7 e 18. Note que a diferença entre os estudos é apenas a troca do PC15 pelo PC18. Na análise, foi possível visualizar o impacto da localização do ponto na qualidade da coleta, uma vez que a troca do ponto PC15 pelo PC18 fez o erro total cair de 16,87 cm para 5,08 cm. Essa diferença no erro total ocorreu por causa da vegetação rasteira alta do local do PC15, onde, por conta da vegetação, o ponto observado pela RPA estava localizado acima do ponto coletado pelo GNSS.



**Figura 7** Áreas dos estudos analisados

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

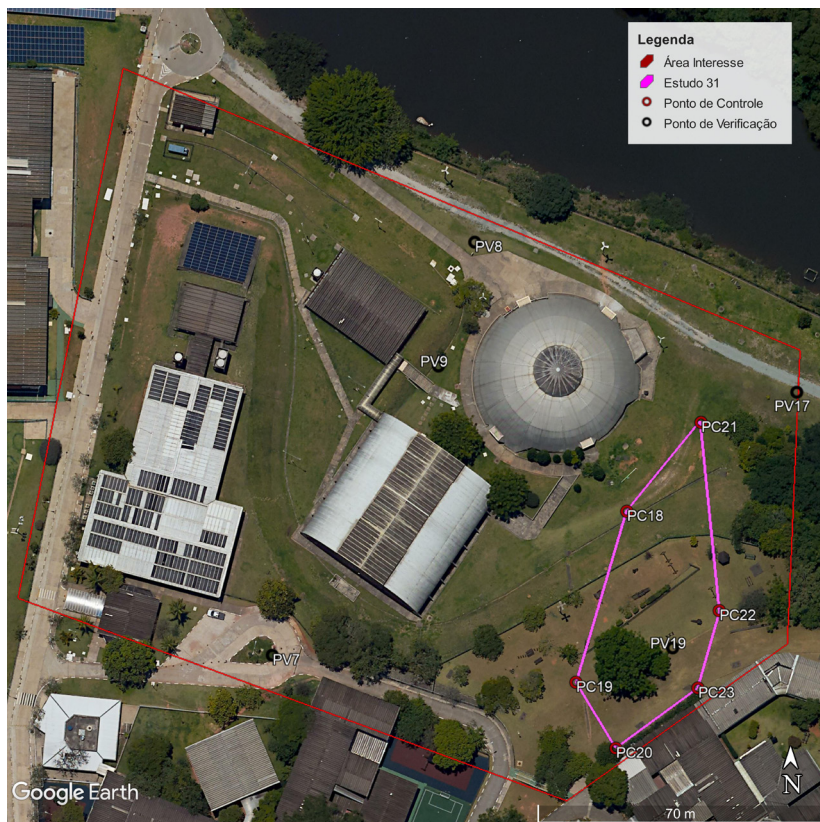
Em relação à distribuição, foi possível notar, por meio de uma análise comparativa realizada entre os estudos 14 (Figura 7) e 16 (Figura 7), a importância na disposição dos PC, uma vez que, no estudo 14, utilizaram-se três PC localizados próximos à extremidade, gerando um plano triangular que ocupou praticamente metade da área de estudo. Já no estudo 16, utilizaram-se três PC, com dois localizados próximos à extremidade e um próximo ao centro, alinhados entre si, dificultando a formação de um plano abrangente. As análises realizadas entre os planos formados pelos PC (Figura 7) utilizados nos estudos sugerem que quanto mais abrangente for o plano formado entre os PC, menor será o erro total apresentado. Partindo desse ponto, conclui-se que quatro PC localizados próximos aos vértices da área de interesse são capazes de entregar um resultado satisfatório, como mostra o estudo 18 (Figura 8), que apresenta um erro total de 1,89 cm, o segundo menor da tabela.



**Figura 8** Estudo 18 com quatro PC

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

Já o estudo 31 (Figura 9) mostra a consequência de uma má distribuição. No estudo 31, foram utilizados seis PC localizados de forma concentrada na região leste da área de interesse. Mesmo utilizando somente PC com altas precisões, o resultado foi insatisfatório, apresentando um erro total próximo a 24 cm. Isso se deve à sua distribuição pela área de interesse, uma vez que ela deve ser realizada de forma homogênea e não concentrada, como foi feito. A Tabela 2 mostra a forma como o erro se distribui pela área de interesse, uma vez que o PV19 presente no plano formado pelos PC apresenta um erro próximo a 2 cm e o PV7, o mais distante do plano, apresenta um erro próximo a 35 cm.



**Figura 9** Estudo 31 com seis PC

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

TABELA 2

Erros do estudo 31

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
PV07	3,8116	-6,98508	-34,0736	34,9904	0,464 (27)
PV08	-2,67589	-8,24814	-28,7985	30,0756	0,405 (38)
PV09	3,64677	-6,45543	-26,2718	27,298	0,455 (50)
PV17	-3,06052	-0,88486	3,86971	5,01243	0,356 (29)
PV19	0,419811	1,39275	1,97738	2,4548	0,441 (29)
<b>Total</b>	<b>2,98432</b>	<b>5,67835</b>	<b>23,2356</b>	<b>24,1048</b>	<b>0,428</b>

Fonte: Elaborada pelos autores.

O segundo estudo foi realizado utilizando a base de quatro PC (01, 04, 17, 20), cada um localizado próximo aos vértices da área de interesse como mostra a Figura 10. Nesse segundo estudo, com foco nos PV, realizaram-se 41 processamentos cujos resultados podem ser observados na Tabela 3.

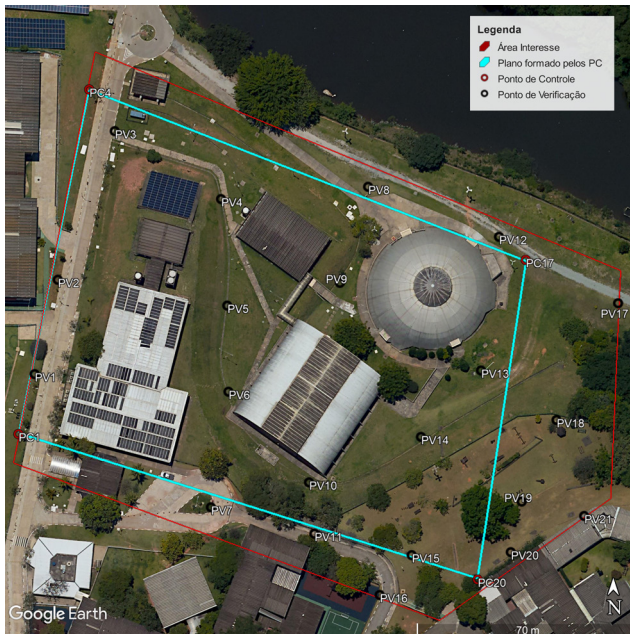


Figura 10 Distribuição dos pontos de apoio

Fonte: Elaborada pelos autores com apoio do Google Earth Pro.

TABELA 3

Erros obtidos no estudo sobre PV

Estudo	GSD	PV	Erro em X (cm)	Erro em Y (cm)	Erro em Z (cm)	Erro em XY (cm)	Erro total (cm)
1	1,81	1	1,25972	3,20658	0,33223	3,44515	3,46114
2	1,81	1,2	1,17812	3,22896	0,82103	3,43717	3,53387
3	1,81	1,2,3	1,3913	2,6361	1,94382	2,98072	3,55853
4	1,81	1,2,3,4	1,3352	2,34141	1,71522	2,69536	3,19483
5	1,81	1,2,3,4,5	1,31048	2,30333	1,89377	2,65003	3,25716
6	1,81	1,2,3,4,5,6	1,34251	2,19469	1,7774	2,57274	3,12701
7	1,81	1,2,3,4,5,6,7	1,25024	2,17634	1,65579	2,50989	3,00686
8	1,81	1,2,3,4,5,6,7,8	1,34645	2,04176	1,57607	2,44575	2,90959
9	1,81	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1,39991	1,93837	1,46633	2,39103	2,80485
10	1,81	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10	1,35063	1,91255	2,58409	2,34138	3,48706
22	1,81	17	0,72582	0,99069	1,44723	1,22813	1,8981
23	1,81	3,17	1,33741	0,70074	2,46059	1,50987	2,8869
24	1,81	1,3,17	1,31215	1,93855	2,0192	2,34088	3,09142
26	1,81	1,3,9,15,17	1,45489	1,96183	1,57597	2,44243	2,90674
27	1,81	9	1,76491	0,49101	0,00776	1,83194	1,83196
28	1,81	5,9	1,51049	1,55385	1,6767	2,16703	2,73995
29	1,81	5,6,9	1,50441	1,55441	1,46629	2,16321	2,61332
31	1,81	5,6,9,13,14	1,94315	1,2979	3,14011	2,33674	3,91416
32	1,81	8	1,88805	0,27821	0,94025	1,90844	2,12749
33	1,81	8,12	1,48973	0,33409	1,82561	1,52674	2,37987
34	1,81	7,8,12	1,23264	1,22293	1,50565	1,73636	2,29824
35	1,81	2,7,8,12	1,19937	1,9436	1,40945	2,28387	2,68377
36	1,81	2,7,8,12,21	1,94813	2,29101	1,48395	3,00731	3,35351
37	1,81	2,7,8,9,12,21	1,91242	2,10322	1,35312	2,8427	3,14831
38	1,81	10	0,78308	1,63077	6,96267	1,80904	7,19384
39	1,81	10,14	1,83825	1,31841	6,71268	2,26216	7,08361
40	1,81	10,14,16	2,99008	2,03517	5,48486	3,61697	6,5701
41	1,81	10,11,14,16	2,63263	2,6731	4,98899	3,75183	6,24229
42	1,81	10,11,14,16,21	2,85927	2,81936	4,54648	4,0155	6,06586
43	1,81	17	0,87780	1,11474	0,19801	1,41887	1,43263
44	1,81	17,19	0,80649	1,05263	1,0393	1,32607	1,68481
45	1,81	9,17,19	1,2066	0,90994	0,83394	1,51125	1,72607
46	1,81	8,9,17,19	1,40606	0,80005	0,87168	1,61775	1,83764
47	1,81	7,8,9,17,19	1,26761	1,16893	0,79201	1,72431	1,89751

Fonte: Elaborada pelos autores.

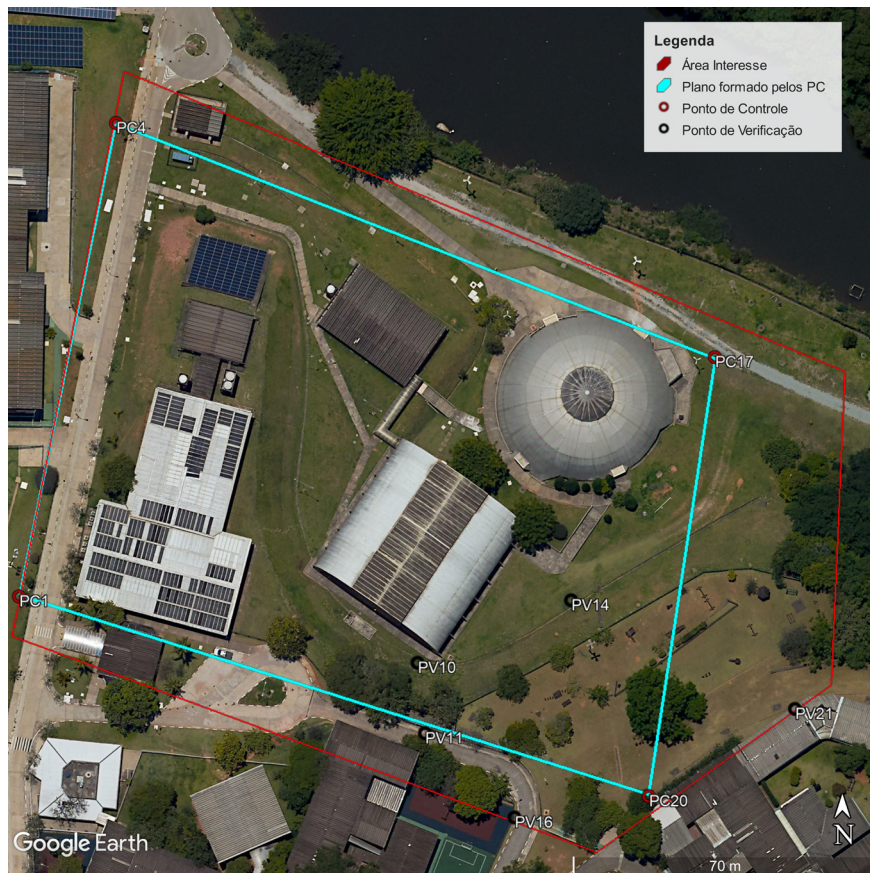
Nos primeiros dez estudos, foi testada a influência da quantidade de PV sobre o erro total. Quando se analisam os dados desses processamentos, é possível perceber que a quantidade de PV influencia na diluição de possíveis erros de coleta.

Nos estudos 38 a 42 (Figura 11), em que foram utilizados os PV 10, 11, 14, 16 e 21, todos com possíveis interferências, os erros se mantiveram acima da média, possivelmente por estarem próximos a estruturas metálicas, debaixo de árvores, locados em terreno com vegetação rasteira alta, locados em planos inclinados, debaixo de telhados ou ao lado de construções.

Já nos estudos 43 a 47 (Figura 12), os PV utilizados (7, 8, 9, 17 e 19) foram aqueles posicionados em locais planos, distantes de construções, estruturas metálicas, corpos d'água, com vegetação rasteira baixa ou inexistente e locados em solos com baixa penetração. Quando se analisaram-se os dados entregues por esses estudos, o erro médio quadrático se apresentou menor do que quando comparado ao estudo que utilizou todos os PV.

Os estudos realizados mostram que, para obter resultados confiáveis, é necessário procurar pontos livres de possíveis interferências, uma vez que uma coleta malfeita pode prejudicar a validação da acurácia posicional do projeto. Porém, para o cálculo do erro total, é realizado uma média quadrática dos PV. Então é importante que a distribuição deles também seja feita de forma homogênea para que o resultado seja significativo em toda a área de interesse.

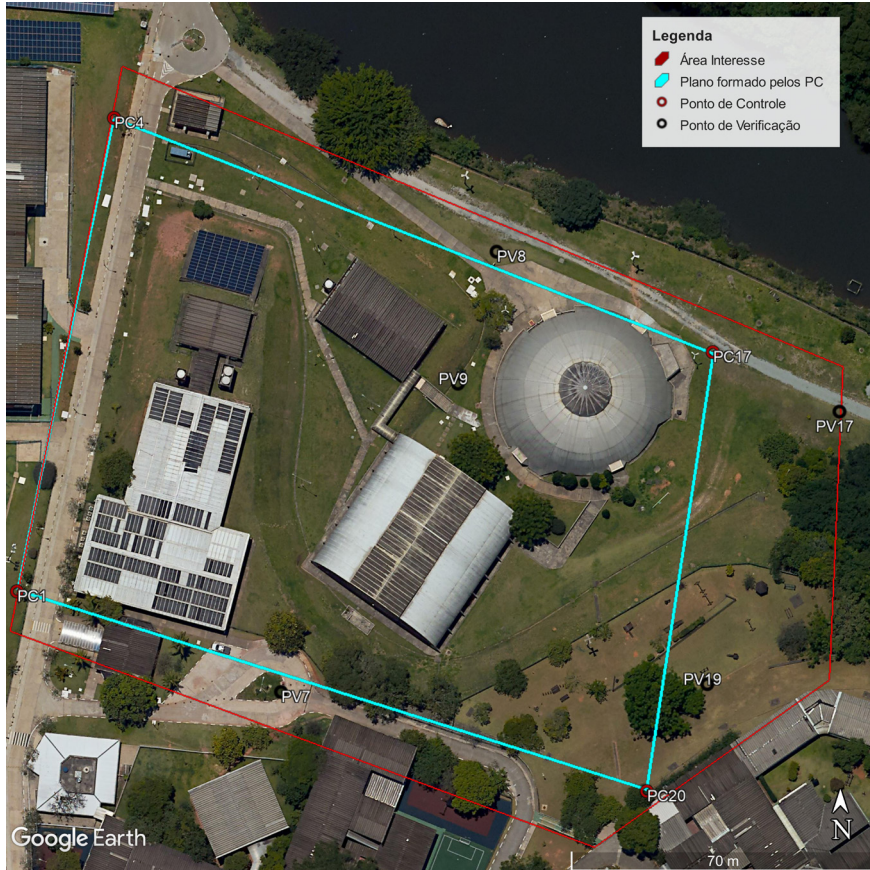
Por meio da discussão realizada, é possível concluir que, quando se realiza a distribuição dos pontos de apoio, é necessário atentar-se à dispersão pela área de estudo, ao tamanho do plano formado entre eles, à centralização desse plano na área de estudo, à geografia do terreno e ao entorno com a finalidade de evitar possíveis interferências no GNSS e na homogeneidade dos pontos de apoio.



**Figura 11** Distribuição dos pontos de apoio do estudo 42

Fonte: Elaborada pelos autores.





**Figura 12** Distribuição dos pontos de apoio do estudo 47

Fonte: Elaborada pelos autores.

Com base nas análises feitas, é possível concluir que, quando se realiza a locação dos pontos de apoio, é necessário atentar-se à sua distribuição pela área de interesse, que deve ser executada de forma homogênea e abrangente. Outro ponto que deve ser levado em conta são possíveis interferências na comunicação do GNSS com o satélite, sejam elas naturais ou artificiais, como: prédios, telhados, grades, postes de luz, lagoas, rios, árvores, ou seja, qualquer obstáculo entre o GNSS e os satélites ou as estruturas que possam causar o multicaminhamento do sinal. Assim como as possíveis interferências, outro fator capaz de gerar erros na coleta é a imprecisão do local do ponto coletado para a superfície visualizada sobre o local, já que a resolução espacial (GSD) limita a visualização com precisão de pequenas variações no terreno.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como a tecnologia atual, presente nas RPAs, não é o suficiente para garantir uma boa acurácia posicional, é necessária a utilização de pontos de apoio para auxiliar o processo de coleta e processamento. Dessa forma, surge a necessidade de compreender os impactos causados por esses pontos.

O objetivo geral deste trabalho foi desenvolver uma pesquisa para minimizar o impacto dos pontos de apoio na acurácia posicional de um aerolevamento com o uso de RPA e GNSS. Nesse sentido, realizou-se um voo sobre uma área do *campus* Alphaville da UPM com o objetivo de levantar dados suficientes para um estudo sobre pontos de apoio.

A análise desses impactos colaborou para a otimização de um processo de suma importância para um aerolevamento que é a distribuição de pontos de apoio. Podemos concluir que os objetivos levantados para este trabalho foram alcançados com êxito.

Vale ressaltar que, como a área abordada neste trabalho é de extrema importância para um bom levantamento aerofotogramétrico, é imprescindível a elaboração de estudos mais profundos utilizando as tecnologias mais recentes, visto que a maior compreensão desse tema irá favorecer a escolha de uma metodologia adequada.

Como recomendação para trabalhos futuros, sugerimos o uso de linguagens como *Python* para automação das tarefas, pois, além de aumentar a produtividade, diminui a possibilidade de erro humano nas tarefas repetitivas, como a transcrição dos dados do relatório para as tabelas. Para a seleção de pontos a serem estudados, é interessante o uso de sequências distintas para simplificar no momento da automação.

### IMPACTS OF GROUND CONTROL POINTS ON THE POSITIONAL ACCURACY OF UAV TOPOGRAPHIC SURVEYS

#### Abstract

Technological advances have promoted changes in several areas. This panorama was not different in topography, promoting efficiency and digitalization of processes. The technology recently deployed in the topography is the Remotely Piloted Aircraft and the Global Navigation Satellite System (GNSS) to perform aero-photogrammetric surveys. However, this technology still has limitations in its accuracy compared to traditional methods. Supporting the technological advances and knowing their limitations, this paper aims to conduct a study about the impact of the ground control points on the positional accuracy of this kind of survey, considering factors such as the

number of points and their distribution on the ground, for the better understanding of the scientific community since this subject is little discussed by the community. To carry out the experiment, an aero survey was performed at the Alphaville campus of Mackenzie Presbyterian University, using two cross-flights with an altitude of 54 meters and 44 ground control points. The Agisoft Metashape Pro software was used to process the data obtained, supported by Python scripts to automate the processes. Among the main results obtained using three control points, the total error of the project is reduced significantly, mainly when distributed in a dispersed, comprehensive, and homogeneous way. When performing the distribution of the ground control points, it is necessary to pay attention to the points' dispersion, comprehensiveness, and homogeneity, besides possible interferences during the sampling.

**Keywords:** Drone-acquired imagery. High-resolution topography. Digital mapping.

---

## REFERÊNCIAS

COELHO JÚNIOR, J. M. *et al.* *Topografia Geral*. Recife: EDUFRPE, 2014. Disponível em: [http://www.editora.ufrpe.br/topografia\\_geral](http://www.editora.ufrpe.br/topografia_geral). Acesso em: 7 maio 2021.

CAMPOS, J. A. M. *et al.* Uso de drones para auxílio de levantamento topográfico: comparativo entre laser scanner, drone (ortofoto) e estação total. *In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, 19., 2019, Santos. *Anais [...]*. Santos: Galoá, 2019. p. 1-4. Disponível em: <http://marte2.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/marte2/2019/09.13.16.00/doc/97491.pdf>. Acesso em: 7 set. 2021.

COSTA, É. M. K. *et al.* Análise da utilização dos recursos da Indústria 4.0 pelos engenheiros civis do Vale do São Patrício-GO. *In: JORNADA INTERDISCIPLINAR DE ENGENHARIA CIVIL*, 4., 2019, Goiás. *Anais [...]*. Goiás: Centro Universitário UniEvangélica, 2019. p. 1-13. Disponível em: [http://45.4.96.19/bitstream/ae/8488/1/6\\_ErikaSamuelMarcosMatheus.pdf](http://45.4.96.19/bitstream/ae/8488/1/6_ErikaSamuelMarcosMatheus.pdf). Acesso em: 30 nov. 2021.

HORUS AERONAVES. Topografia com drones para iniciantes. 2019. Disponível em: <https://horusaeronaves.com/ebook/ebook-topografia-com-drones-para-iniciantes.pdf>. Acesso em: 7 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Aerofotogrametria. Atlas escolar, 2021. Disponível em: <https://atlasescolar.ibge.gov.br/conceitos-gerais/o-que-e-cartografia/aerofotogrametria.html>. Acesso em: 30 nov. 2021.

JESUS, H. P.; OLIVEIRA H. C. *Análise comparativa de levantamentos planialtimétricos: topografia convencional, GPS e drone*. 2018. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil)

– Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2018. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/web/up/140/o/AN%C3%81LISE\\_COMPARATIVA\\_DE\\_LEVANTAMENTOS\\_PLANIALTIM%C3%89TRICOS\\_%E2%80%93\\_TOPOGRAFIA\\_CONVENCIONAL\\_\\_GPS\\_E\\_DRONE.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/web/up/140/o/AN%C3%81LISE_COMPARATIVA_DE_LEVANTAMENTOS_PLANIALTIM%C3%89TRICOS_%E2%80%93_TOPOGRAFIA_CONVENCIONAL__GPS_E_DRONE.pdf). Acesso em: 25 ago. 2021.

LIMA, G. O. *Estudo comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrico) para fins de elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em Belém*. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018. Disponível em: [https://graduacaoeca.ufra.edu.br/images/\\_\\_\\_Novos\\_documentos/TCC\\_GERSON\\_LIMA.pdf](https://graduacaoeca.ufra.edu.br/images/___Novos_documentos/TCC_GERSON_LIMA.pdf). Acesso em: 7 out. 2021.

MEDINA ENGENHARIA. *Evolução da topografia: embarque com a gente nesta história*. 2019. Disponível em: <https://engm3.com/evolucao-da-topografia/>. Acesso em: 25 jun. 2021.

PAMBOUKIAN, S. V. D. *Orientação para o uso legal de drones*. *Semana de Preparação Pedagógica*, Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2020. Disponível em: [https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2020/Trabalhos/SPP\\_-\\_Orienta%C3%A7%C3%B5es\\_para\\_o\\_uso\\_legal\\_de\\_Drones.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2020/Trabalhos/SPP_-_Orienta%C3%A7%C3%B5es_para_o_uso_legal_de_Drones.pdf). Acesso em: 7 maio 2021.

PAMBOUKIAN, S. V. D. *Topografia com drones e GNSS*. In: I MOSTRA DOCENTE DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO DA ESCOLA DE ENGENHARIA, UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE, 2019, São Paulo. Disponível em: [https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2019/Trabalhos/TOPOGRAFIA\\_COM\\_DRONES\\_E\\_GNSS.pdf](https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2019/Trabalhos/TOPOGRAFIA_COM_DRONES_E_GNSS.pdf). Acesso em: 7 maio 2021.

REBELO, A. A. *Métodos de levantamento topográfico: comparativo de precisão entre estação total e drone*. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça, 2019. Disponível em: <http://www.ruiuni.unisul.br/handle/12345/7474>. Acesso em: 20 maio 2021.

RODRIGUES, D. A.; GALLARDO, A. L. C. F. *Vantagens da aerofotogrametria por drone na obtenção de dados topográficos em estudos de lixões e aterros sanitários*. In: SINGEP, 7, 2018, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: Universidade Nove de Julho, 2018. p. 2-16. Disponível em: <http://www.singep.org.br/7singep/resultado/209.pdf>. Acesso em: 2 set. 2021.

SARAIVA, D. *Uso de produtos fotogramétricos obtidos de uma aeronave remotamente pilotada (RPA) para a elaboração de projetos de engenharia*. 2019. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019. Disponível em: [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/52331/1/2019\\_tcc\\_dhosaraiva.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/52331/1/2019_tcc_dhosaraiva.pdf). Acesso em: 27 ago. 2021.

#### Contato

Sergio Vicente Denser Pamboukian  
sergio.pamboukian@mackenzie.br

#### Tramitação

Recebido em março de 2022.  
Aprovado em junho de 2022.