



MARINHA DO BRASIL



DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO

CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE HIDROGRAFIA PARA OFICIAIS

EMPREGO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA A MEDIÇÃO
DE *OFFSET*

Brenno Moises Souza Silva

NITERÓI, RJ

2023

Brenno Moises Souza Silva

EMPREGO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA MEDIÇÃO DE
OFFSET

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao corpo docente e técnico do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino da Marinha do Brasil (CIAARA/MB), como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Oficial Hidrógrafo.

Orientador: Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo

Niterói – RJ

2023

Silva, Brenno Moises Souza Silva.

Emprego de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) para medição de *offset*/ Brenno Moises Souza Silva. – Rio de Janeiro: MB/ CIAARA, 2023.

52, f.: il., 29,7 cm

Orientador: Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo.

Monografia – MB/ CIAARA Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais, 2023.

Referências Bibliográficas: p. 49 – 51.

1. Medição de *offset*. 2. Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). 3. Método Convencional. I. Melo, Edico Ramon de. et al. II. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino, CIAARA, Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais. III. Título.

EMPREGO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA
MEDIÇÃO DE *OFFSET*

Brenno Moises Souza Silva

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE E TÉCNICO DO CENTRO DE INSTRUÇÃO E ADESTRAMENTO ALMIRANTE RADLER DE AQUINO DA MARINHA DO BRASIL (CIAARA/MB) COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE OFICIAL HIDROGRÁFO.

Examinada por:

Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo

Capitão de Mar e Guerra (RM1) Heraldo Soares Caldeira

Primeiro-Tenente (EN) Raphael Testai de Souza

NITERÓI, RJ, BRASIL

OUTUBRO DE 2023

Agradecimentos

Em primeiro lugar, sou grato a Deus por ter me guiado e fortalecido ao longo de toda a jornada acadêmica. Mesmo nos momentos mais desafiadores e difíceis, Sua presença constante me deu força para superar obstáculos e perseverar.

Aos meus pais, avós e irmãos, meu profundo agradecimento por estarem ao meu lado, me apoiando e sendo meu alicerce desde o meu nascimento. Sua dedicação, amor e incentivo foram essenciais para que eu pudesse chegar até aqui.

A minha adorável esposa, Thayna Deoclécio, dedico meus agradecimentos mais especiais. Obrigado por nunca me negar seu amor, apoio e incentivo. Sua presença constante em minha vida foi um pilar de força e inspiração. Compartilhamos os momentos de ansiedade e estresse ao longo desta jornada, e sem você ao meu lado, este trabalho não teria sido concluído. Todo o amor do meu coração é seu.

Aos meus amigos, que estiveram presentes durante todo o percurso acadêmico, agradeço por compartilharem risos, estudos e momentos de descontração. Sua amizade e apoio foram fundamentais para manter minha motivação e determinação.

Gostaria de expressar meu sincero agradecimento ao Capitão de Corveta Nascimento e Capitão-Tenente (EN) Edico pelas suas inestimáveis contribuições como orientadores neste trabalho. Sua disponibilidade em ajudar, os valiosos conhecimentos transmitidos e a total dedicação em todos os momentos foram fundamentais para o sucesso deste projeto. Sua experiência e expertise foram inspiradoras e enriquecedoras, e sou imensamente grato pela oportunidade de tê-lo como orientador deste TCC.

Agradeço também ao Capitão-Tenente Leon Cader Drumond Silveira, ao Primeiro-Tenente Tiago Wanderley da Cunha Santos e ao Segundo-Tenente Rafael Machado Mota Garcia, Comandante, Imediato e Chefe de Operações, respectivamente, do Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico Aspirante “Moura”, por sua colaboração e disponibilidade em dispor tanto o Navio quanto parte da tripulação para auxiliar no levantamento da pesquisa.

Gostaria de expressar meu sincero agradecimento ao Mestre em Engenharia Oceânica Casey O'Heran pelo seu trabalho publicado intitulado "Horizontal Calibration of Vessel Lever Arms Using Non-Traditional Survey Methods". Sua pesquisa serviu como uma importante fonte de inspiração e base para a confecção deste trabalho. Agradeço profundamente pela sua contribuição significativa e por compartilhar seu conhecimento com a comunidade acadêmica.

Agradeço também ao Capitão de Mar e Guerra (RM1) Heraldo Soares Caldeira e ao Primeiro-Tenente Raphael Testai de Souza pela disponibilidade e pela honra de comporem a banca de avaliação deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste TCC. Seu apoio e incentivo foram fundamentais para o meu crescimento acadêmico e pessoal.

Muito obrigado a todos.

EMPREGO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA (ARP) PARA MEDIÇÃO DE *OFFSET*

Brenno Moises Souza Silva

Outubro/ 2023

Orientador: Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo.

Programa: Curso de Aperfeiçoamento em Hidrografia para Oficiais.

Este trabalho aborda a importância da medição acurada do *offset* dos equipamentos em embarcações, considerando a relevância desse parâmetro para a segurança e eficiência das operações marítimas. O método convencional de medição de *offset*, que envolve técnicas topográficas tradicionais, é mais acurado, porém demorado e requer que a embarcação esteja em dique seco, resultando em períodos de inatividade custosos. O estudo propõe o uso de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) para realizar medições de *offset* com o navio atracado, visando reduzir o tempo de docagem e os custos associados. O uso de drones oferece vantagens em termos de acessibilidade, custo e elimina a necessidade de docagem.

A pesquisa inclui a análise da precisão das medições realizadas com ARP em comparação com o método convencional. Os resultados mostram que as medições com drones são precisas, com poucas diferenças em relação às medições convencionais. No entanto, há limitações relacionadas à definição do centro do Sistema de Coordenadas da Embarcação (SCE) e à visualização de equipamentos abaixo da linha d'água.

Conclui-se que o uso de ARP é uma alternativa viável para medições de *offset*, especialmente em situações em que a docagem não é possível. No entanto, é importante considerar a necessidade de pontos de referência claros e a definição precisa do SCE.

Palavras-Chave: Medição de *Offset*, ARP, fotogrametria.

EMPLOYMENT OF REMOTELY PILOTED AIRCRAFT (RPA) FOR OFFSET MEASUREMENT

Brenno Moises Souza Silva

October/ 2023

Advisors: Capitão-Tenente (EN) Edico Ramon de Melo.

Department: Hydrography Course for Officers

This work addresses the importance of accurately measuring equipment offsets on vessels, considering the relevance of this parameter for the safety and efficiency of maritime operations. The conventional method of offset measurement, which involves traditional topographic techniques, is accurate but time-consuming and requires the vessel to be in dry dock, resulting in costly periods of inactivity. The study proposes the use of Unmanned Aerial Systems (UAS) to perform offset measurements with the ship docked, aiming to reduce docking time and associated costs. The use of drones offers advantages in terms of accessibility, cost, and eliminates the need for dry docking.

The research includes an analysis of the accuracy of measurements taken with UAS compared to the conventional method. The results show that measurements taken with UAS are precise, with minimal differences compared to conventional measurements. However, there are challenges related to defining the center of the Vessel Coordinate System (VCS) and visualizing equipment below the waterline.

In conclusion, the use of drones is a viable alternative for offset measurements, especially in situations where dry docking is not possible. However, it is important to consider the need for clear reference points and precise definition of the VCS.

Keywords: *Offset* Measurement, UAS, Photogrammetry.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Representação da diferença entre o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE).....	18
Figura 02 – Imagem com AvPqHo Aspirante “Moura” em destaque, atracado no lado externo do PIRF do CNPA.....	20
Figura 03 – Meteograma com a previsão iniciada em 20 de maio 1200Z do modelo COSMO/CHM para o Clube Naval Charitas. O retângulo vermelho indica o período de interesse da previsão.....	22
Figura 04 – Meteograma da estação meteorológica do Clube Naval Charitas com horário de 1000Z às 1300Z assinalado em vermelho.....	23
Figura 05 – Linhas de corrente de vento a 10 m com intensidade do vento (cores) em nós. O quadrado vermelho indica a região de interesse.....	24
Figura 06 – Gráfico da intensidade e direção do vento observado na Estação Meteorológica do CIAARA.....	25
Figura 07 – Imagem do rastreador Novatel DLV-3 juntamente com antena GTR-702-GGL sobre o Alvo 1.....	26
Figura 08 – Superexposição da imagem próximo à casa de máquina do PIRF.....	27
Figura 09 – Pontos de controle fixados no cais em cinco posições diferentes.....	28
Figura 10 – Receptor com antena posicionada sobre o ponto de controle.....	29
Figura 11 – Imagem superior do AvPqHo Aspirante Moura com alvos fixados com marcação circular vermelha de suas posições.....	30
Figura 12 – Alvo virado devido ao vento.....	30
Figura 13 – Medições com fita métrica entre alvos e em relação a pontos fixos do Navio.....	31
Figura 14 – Imagem do A) DJI Mavic 2 Pro e B) Topodrone PPK (em destaque)	33
Figura 15 – Trajetória de voo iniciado no sentido Oeste-Leste.....	34
Figura 16 – Trajetória do voo iniciado no sentido Norte-Sul.....	34

Figura 17 – Fluxo de processamento das imagens georreferenciadas no <i>software</i> Agisoft Metashape.....	36
Figura 18 – Pré-visualização do alinhamento das imagens georreferenciadas, da nuvem de pontos e dos pontos de controle.....	37
Figura 19 – Erros estimados para cada posição de obtenção de imagem da câmera.....	38
Figura 20 – AvPqHo Aspirante “Moura” com pontos amostrais em destaque e suas respectivas numerações.....	40
Figura 21 – Histograma de frequência com curva normal FMP proveniente da distribuição em classes dos resultados dos erros.....	42
Figura 22 – Imagem da medição entre as antenas do SeaPath utilizando QGIS.....	44
Figura 23 – Sistema de Coordenadas da Embarcação (SCE) vista de uma perspectiva (A) lateral e (B) superior.....	45
Figura 24 – Posicionamento das antenas SeaPath 1 e SeaPath 2 em relação ao SCE da AvPqHo Aspirante “Moura”.....	45
Figura 25 – Medições feitas diretamente por fita métrica da barra de sustentação das antenas Seapath.....	46

LISTA DE TABELA

Tabela 1 – Cronograma do experimento feito em campo.....	26
Tabela 2 – Posições e Incertezas dos alvos rastreados no PIRF.....	32
Tabela 3 – Propriedades do DJI Mavic 2 Pro.....	32
Tabela 4 – Tabela de erros da câmera para cada eixo da imagem em cada posição de registro....	38
Tabela 5 – Medições dos pontos obtidas com a fita métrica e valores obtidos com as ortofotos através da ferramenta de medição do software QGIS.....	39
Tabela 6 – Erros distribuídos em intervalos de classes com análise de frequência e porcentagem.....	42
Tabela 7 – Tabela de resultado da avaliação das medições após análise comparativo com o intervalo de confiança.....	43
Tabela 8 – Resultado da medição entre centro de fase das antenas SeaPath 1 e SeaPath 2 utilizando QGIS.....	44
Tabela 9 – Tabela comparativa entre a medição da distância linear entre as antenas SeaPath 1 e SeaPath 2 utilizando relatório da medição de offset realizado pelo método convencional e pelo QGIS através da ortofoto.....	46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ARP	Aeronave Remotamente Pilotada
AvPqHo	Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico
CAHO	Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais
CNPA	Complexo Naval Ponta da Areia
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação
DJI	Dà-Jiāng Innovations Science and Technology
ET	Estação Total
FAB	Força Aérea Brasileira
GNHo	Grupamento de Navios Hidroceanográficos
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
LHFC	Levantamentos Hidrográficos de Final de Curso
MDS	Modelo Digital de Superfície
MVS	Multi-View Stereo
OM	Organizações Militares
PIRF	Pier Almirante Paulo Irineu Roxo Freitas
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo
SARPAS	Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas
SCE	Sistema de Coordenadas da Embarcação
SCL	Sistema de Coordenadas Local
SfM	Struture for Motion
UAS	Unmanned Aerial Systems
UFF	Universidade Federal Fluminense
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1	METODOLOGIA CONVENCIONAL DE MEDIÇÃO DE OFFSET.....	14
1.2	METODOLOGIA UTILIZANDO A ARP.....	14
1.3	OBJETIVO.....	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	FOTOGRAMETRIA.....	16
2.2	MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE (MDS) E MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT).....	18
3.	MATERIAIS E METODOLOGIA	19
3.1	INTRODUÇÃO.....	19
3.1.1	Embarcação	19
3.1.2	Local da Obtenção dos Dados	19
3.1.3	Previsão Meteorológica	21
3.1.4	Cronograma do Experimento	25
3.2	PONTOS DE CONTROLE.....	26
3.2.1	Rastreador	26
3.2.2	Pontos de Controle Fixados no PIRF	27
3.2.3	Alvos Fixados na Embarcação	29
3.2.4	Processamento dos Dados dos Pontos de Controle	31
3.3	GERENCIAMENTO DAS INFORMAÇÕES DA ARP.....	32
3.3.1	Especificações da ARP e Equipamentos Arelados	32
3.3.2	Plano de Voo	33
3.3.3	Autorização SARPAS	35
3.3.4	Software de Processamento das Imagens	35
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	RESULTADO DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....	37
4.2	VERIFICAÇÃO DA QUALIDADE DO ORTOMOSAICO PRODUZIDO A PARTIR DAS IMAGENS ARP	40
4.3	COMPARAÇÃO ENTRE OS DADOS DA ARP E O MÉTODO CONVENCIONAL.....	43
5	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

A indústria náutica tem experimentado um crescimento constante nos últimos anos (FAVARO, 2021), sendo impulsionada pela demanda por equipamentos de alta qualidade, seguros e eficientes para as embarcações. No Brasil, onde o transporte marítimo é o principal modal de escoamento das exportações (PIGNANELLI e SANTOS, 2016), há um interesse significativo em expandir métodos e técnicas que possam garantir a segurança (IPEA, 2019) e a eficácia dos meios náuticos.

Nesse contexto, o termo *offset* tem se tornado cada vez mais relevante na fabricação e ajustes de equipamentos náuticos. Esse pode ter diferentes significados em vários contextos, mas, do ponto de vista dos equipamentos, conforme observado por Nardez (2010), ele se refere ao deslocamento de uma parte ou componente em relação a uma referência. A medida de *offset* dos equipamentos dos navios desempenha um papel fundamental na segurança e eficiência das operações marítimas. Em um mundo cada vez mais globalizado e dependente do transporte marítimo, é essencial garantir que as embarcações estejam equipadas com sistemas precisos e confiáveis para medir e corrigir o deslocamento posicionais de seus sensores e equipamentos em relação a pontos de parametrizados do navio.

No âmbito da Marinha do Brasil, a medição precisa do *offset* dos equipamentos dos navios é fundamental especialmente em navios hidroceanográficos e faroleiros. A distância entre as antenas que recebem sinais de localização e os sensores deve ser rigorosamente medida para garantir a integração adequada dos dados obtidos por esses equipamentos. Em navios que fazem levantamentos hidrográficos, por exemplo, é essencial conhecer e manter uma posição precisa para a antena GNSS, a fim de integrar os sensores para a aquisição de dados batimétricos obtidos pelos equipamentos correspondentes. Essa integração acurada é fundamental para obter informações confiáveis sobre a profundidade do leito marinho e para mapear a topografia dos oceanos, garantindo a segurança das operações e a precisão dos dados coletados. A medida acurada e precisa do *offset* dos equipamentos é crucial para alcançar essa integração precisa.

Um dos maiores desafios enfrentados é encontrar um equilíbrio entre o tempo necessário para realizar a medição de *offset* dos equipamentos e os custos associados a esse processo. O método convencional de medição entre os sensores requer que o navio esteja em dique seco, o que demanda um dispêndio de tempo e recursos significativo de docagem, além de resultar em perda de receita e/ou produtividade pelo período de inatividade. No contexto da Marinha do Brasil, ter um navio parado implica na falta de atividade em áreas que possam precisar dos serviços, além de maior gasto em recursos financeiros da União.

Este trabalho tem como objetivo estudar um novo método de medição de *offset* através do uso de Aeronave Remotamente Pilotada (ARP), com o navio atracado, a fim de verificar a viabilidade da redução do tempo de docagem da embarcação e também diminuir os custos envolvidos. Pretende-se demonstrar as vantagens, desvantagens e limitações desse novo método em comparação com o método convencional. Ao explorar esse novo método de medição de *offset*, busca-se comprovar a viabilidade, adequabilidade e confiabilidade de sua implementação a fim de otimizar a eficiência operacional, reduzir os custos e minimizar os períodos de inatividade do navio.

1.1 Metodologia Convencional de Medição de Offset

A metodologia adotada para a medição de *offset* dos equipamentos do navio envolve a utilização de técnicas topográficas clássicas, que fornecem resultados acurados e confiáveis. Esse procedimento consiste na obtenção das coordenadas de pontos de interesse por meio de métodos de levantamento topográfico tradicionais, seguido pelo cálculo dos *offsets* angulares e lineares com base nessas coordenadas.

Uma vantagem significativa desse método é a sua acurácia, embora seja trabalhoso e demorado a obtenção das medidas. Essa precisão é importante para assegurar o correto posicionamento e alinhamento dos equipamentos, o que é fundamental para o bom funcionamento na interoperabilidade dos equipamentos e sensores da embarcação

O processo de coleta de dados utilizando a estação total requer tempo para realizar o planejamento, a coleta e o cálculo das medições angulares e lineares em cada ponto de interesse. Além disso, o levantamento dos dados só pode ser feito quando a embarcação estiver no dique seco. Durante esse período, o navio não estará produtivo, uma vez que está parado para a realização das medições e ajustes necessários. Portanto, embora seja um método preciso e confiável, é importante considerar o impacto do tempo necessário para a medição de *offset* dos equipamentos do navio.

1.2 Metodologia Utilizando a ARP

Nos últimos anos, o desenvolvimento da Estereoscopia Multi-Visão (MVS) utilizando imagens obtidas por ARP tem sido aplicado com sucesso devido à sua praticidade e baixo custo na obtenção de imagens, juntamente com a precisão do mapeamento. Parte desse sucesso se deve ao rápido desenvolvimento da técnica computacional conhecida em inglês como "*Structure from Motion*" (SfM), que calcula os parâmetros de orientação interior e exterior das

câmeras a partir de um grupo de imagens desordenadas, bem como pontos 3D esparsos simultaneamente. O SfM pode ser considerado como uma técnica computacional composta por vários algoritmos que podem ser utilizados em diversas abordagens. Pesquisadores propuseram uma abordagem de reconstrução 3D de baixa para alta resolução, chamada de "SfM multietapa". Essa abordagem começa construindo rapidamente um modelo 3D grosseiro usando apenas uma fração das características das imagens fornecidas e, em seguida, esse modelo grosseiro é aprimorado em estágios subsequentes de modo a melhorar a resolução (NAN YE *et al.*, 2021).

Devido às características de maior acessibilidade e menor custo na obtenção de imagens e medições de objetos, os ARP se tornaram uma opção para substituir os métodos convencionais de medição de *offset*. Um projeto de fotogrametria por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) baseado nos algoritmos de SfM pode ser utilizado nesse contexto. Através das imagens obtidas por esses ARP, é possível modelar as características superficiais dos objetos, bem como estruturas de base, resultando em uma nuvem de pontos densa, ortoimagens e um Modelo Digital de Superfície (MDS). Dependendo do objetivo a se empregar, é possível até adquirir da densa nuvem de pontos, dados topográficos para permitir a obtenção de uma nova superfície interpolada que possa vir a representar a morfologia não alterada (CARVAJAL-RAMÍREZ, *et al.*; 2019).

Para tanto, será utilizado *software* que possibilita o processamento de imagens capturadas por câmeras RGB, transformando-as em informações espaciais por meio de medições estereoscópicas. Esse processo permitirá a extração de características relevantes das feições identificáveis, resultando em nuvens de pontos (*tie points*) fotogramétricos, ortomosaicos georreferenciados e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Adicionalmente, são incorporados pontos de referência no processo de pós-processamento para aprimorar a qualidade da imagem durante o georreferenciamento.

No entanto, devido aos movimentos da aeronave e dos objetos em foco, no caso deste trabalho, as antenas Seapath do Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico (AvPqHo) "Aspirante Moura", deverão surgir erros na captura e compilação das imagens para formar as nuvens de pontos, o qual deverão ser levados em consideração no cálculo final do *offset*.

Na etapa de campo, foram utilizados pontos de referência no cais, cujas posições serão obtidas por meio de um rastreador. Esses pontos de referência serão usados como pontos de apoio para calcular as distâncias entre os pontos fixados no navio. As distâncias entre esses alvos fixados no convés do Navio foram medidas utilizando uma fita métrica. Esses pontos também serão usados para comparar com as distâncias medidas calculadas pelo software de processamento das imagens obtidas pelo drone.

Com base nos dados das distâncias entre as miras e nas informações de precisão determinadas por cálculo e comparação, como mencionado no parágrafo anterior, serão calculadas as distâncias entre esses alvos e as antenas expostas no convés exterior. Além disso, será estimada a distância de offset entre os sensores e os equipamentos de interesse.

1.3 Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a utilização do método SfM utilizando ARP para medições entre sensores e equipamentos acima da água, a fim de analisar a viabilidade desse método em comparação com o método convencional.

Para realizar o levantamento aerofotogramétrico com ARP, serão adicionalmente descritos os procedimentos de operação da ARP em campo. Nestes procedimentos busca-se avaliar as condições meteorológicas locais, plano de voo e legislação vigente

Ao final, este trabalho tem como objetivo específico avaliar estatisticamente os resultados obtidos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Fotogrametria

Inicialmente, a fotogrametria se baseava na captura de imagens com câmeras analógicas, em que as fotos eram realizadas processos analógicos e manuais utilizando fotografias, para interpretação e representação tridimensional dos objetos sobre a superfície do terreno para criar modelos 3D, com destaque para a técnica de estereoscopia visual, que permitia a visão em perspectiva através da observação de pares de imagens com sobreposição controlada (TEMBA, 2000). Esse método pioneiro trouxe a capacidade de medições e mapeamento, mas estava limitado pela natureza manual e demorada do processo.

Com o advento da imagem digital, a fotogrametria passou por uma revolução tecnológica. A transição para sensores digitais e a capacidade de processar imagens de forma computacional trouxeram avanços significativos em termos de eficiência e precisão. A automação do processo de correspondência de pontos-chaves nas imagens e a utilização de algoritmos complexos permitiram uma reconstrução mais rápida e detalhada de objetos e áreas. Além disso, a integração de drones equipados com câmeras digitais trouxe uma nova dimensão à fotogrametria, permitindo a captura de dados de maneira mais flexível e abrangente. Segundo Yang *et al.* (2022) nos últimos anos, a fotogrametria com veículos aéreos não tripulados

(VANTs), também conhecidos como drones, é uma tecnologia nova e avançada. Essas inovações possibilitaram aplicações diversificadas, desde mapeamento topográfico e inspeções industriais até modelagem 3D precisa. Devido as características de maior acessibilidade e menor custo em adquirir imagens e as medidas dos objetos dessas imagens, os drones atualmente é uma boa opção para fazer as medições de *offset*.

Um dos avanços que impulsionou a evolução da criação de ortomosaicos foi a introdução dos algoritmos *Structure from Motion* (SfM) e *Multi-View Stereopsis* (MVS). O SfM e o MVS são técnicas que combinam visão computacional e análise de imagens para determinar com precisão tanto a posição quanto a orientação da câmera, além de deduzir a geometria de uma cena tridimensional. Um aspecto notável é que essas técnicas conseguem realizar tais feitos sem a necessidade prévia de especificar uma rede de pontos-alvo com coordenadas conhecidas. A representação tridimensional é obtida através da sobreposição de múltiplas imagens, utilizando como base o método MVS, que se destaca como uma das abordagens mais robustas, especialmente quando as imagens exibem variações consideráveis em escala e ângulo de visão. A precisão dos modelos tridimensionais resultantes de métodos fotogramétricos é diretamente influenciada pela qualidade da textura e do contraste presentes nas imagens. Essa qualidade é influenciada por fatores como a altura de voo, o comprimento focal e a resolução da câmera, as condições de iluminação e a velocidade do VANT (CARVAJAL-RAMÍREZ *et al.*, 2019). Ambos os algoritmos permitiram reduzir significativamente o tempo necessário para a campanha de levantamento, o processo de orientação absoluta e o pós-processamento devido a sua autonomia computacional em processar as imagens.

As lentes, por não serem perfeitas, produzem uma imagem imprecisa. Estes defeitos da imagem recebem o nome de aberrações (MAZON *et al.*, 2011). Para se contornar esse problema, é preciso compreender os efeitos que são gerados para a formação das imagens e quais parâmetros são responsáveis por isso. A calibração de câmera consiste no processo de determinar dados geométricos e ópticos da câmera que são divididos em dois parâmetros: intrínsecos e extrínsecos. Os parâmetros intrínsecos correspondem às características ópticas da câmera e os extrínsecos indicam a posição da origem do sistema de coordenadas da câmera em relação à origem das coordenadas do mundo 3D (DIAS, 2015). Os parâmetros de calibração são: ponto principal (X_0 , Y_0), distância focal (f), coeficientes de distorção radial simétrica (K_1 , K_2 , K_3) e os coeficientes de distorção descentrada (P_1 , P_2) (MAZON *et al.*, 2011). Esses parâmetros são importantes para determinar os coeficientes das equações lineares na variável

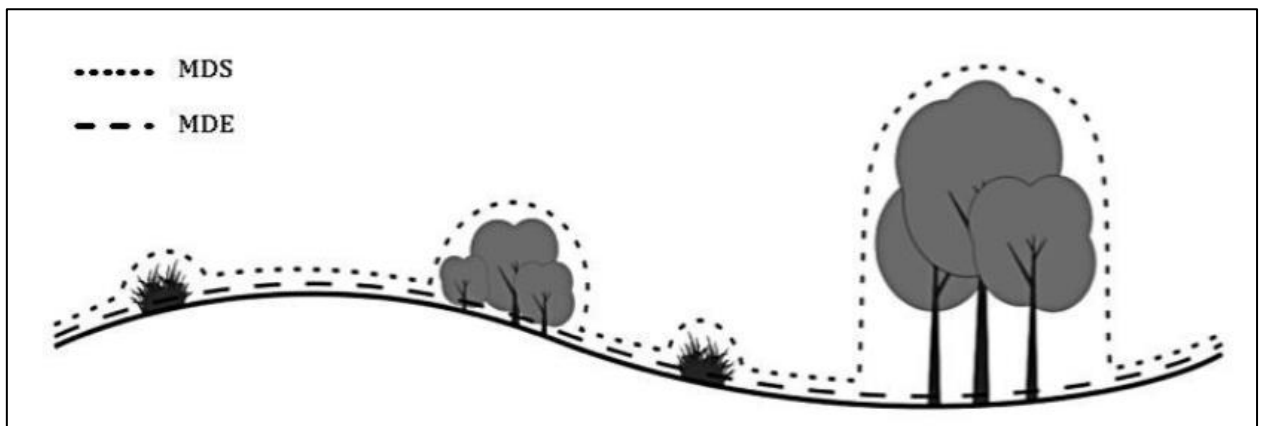
de posição de um objeto que relaciona os pontos tridimensionais com os respectivos bidimensionais gerados pelas lentes.

2.2 Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT)

A fotogrametria desempenha um papel fundamental na geração de representações precisas da superfície terrestre, e essa técnica se conecta diretamente ao entendimento do Modelo Digital de Terreno (MDT) e do Modelo Digital de Superfície (MDS), os quais oferecem perspectivas distintas sobre dados altimétricos.

Os autores Weis *et al.* (2022) descrevem o MDS como toda a superfície, sendo ela solo ou o que está sobre o mesmo, como vegetação e construções. Já o MDE representa a superfície do terreno “nua”, sem os obstáculos (Figura 01).

Figura 01 – Representação da diferença entre o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o Modelo Digital de Elevação (MDE)



Fonte: Weis *et al.*, 2022

Um projeto de Fotogrametria com VANT, baseado em algoritmos de Estrutura a partir do Movimento e Estereoscopia Multi-Visão, é aplicado para modelar o terreno superficial. Isso resulta em uma nuvem densa de pontos, uma ortoimagem e um Modelo Digital de Superfície (CARVAJAL-RAMÍREZ *et al.*, 2019). No contexto deste estudo, o MDS emerge como o elemento de maior relevância, uma vez que as características expostas da embarcação e do terreno e suas variações assumem importância essencial para as medições futuras a serem conduzidas e para a análise dos objetos presentes na figura 3D gerada a partir da fotogrametria.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

3.1 Introdução

3.1.1 Embarcação

A embarcação escolhida para o levantamento é o AvPqHo “Aspirante Moura”. Essa embarcação é utilizada para a instrução dos Levantamentos Hidrográficos de Final de Curso (LHFC) dos alunos do Curso de Aperfeiçoamento de Hidrografia para Oficiais (CAHO), além de realizar levantamentos hidrográficos em geral. O “Aspirante Moura” está subordinado à Grupamento de Navios Hidroceanográficos (GNHo) e desempenha o papel de laboratório embarcado, fornecendo suporte para pesquisas da Marinha e da comunidade científica. A embarcação tem um comprimento longitudinal de aproximadamente 36 metros e uma largura transversal (boca) de 9 metros. Além disso, está equipada com diversos equipamentos e sensores externos, como as antenas Seapath, C-NAV e GPA.

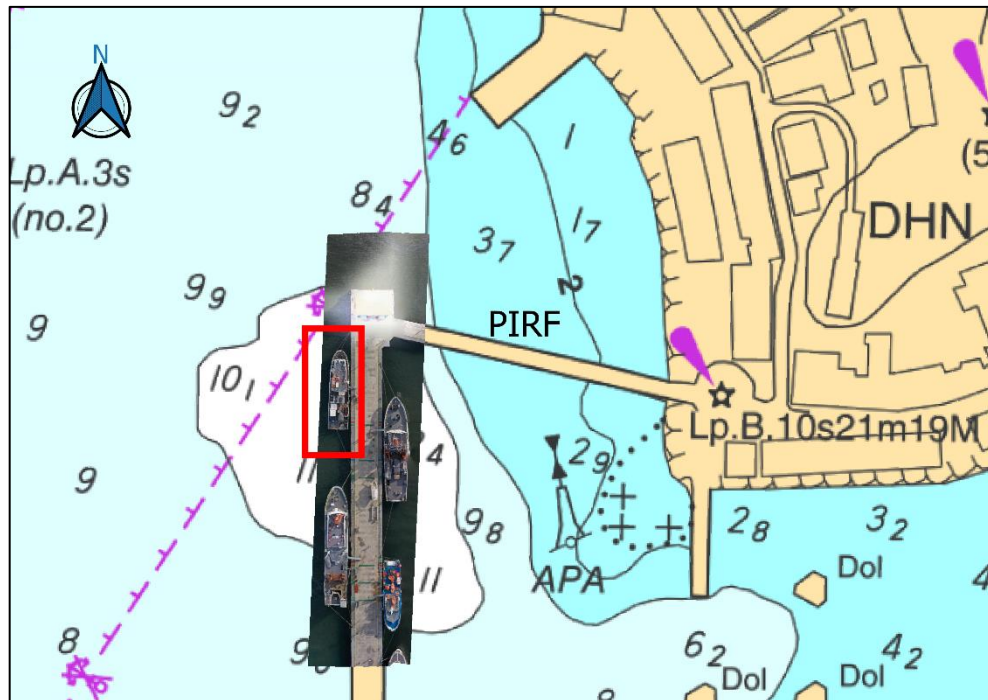
O AvPqHo “Aspirante Moura” foi escolhido para este trabalho devido às suas dimensões menores, o que facilita a coleta de dados por parte do drone, uma vez que não é necessário varrer uma grande área e nem voar em grande altitude. Além disso, devido ao local ser próximo de aeroporto, a restrição de altitude é um fator importante a considerar.

É relevante também mencionar que as dimensões de *offset* dos sensores do navio foram recentemente medidas em 2022 na Base Naval de Aratu, em Salvador/BA. Essas medidas serão relevantes para o estudo, pois servirão de referência para comparação com os dados a serem calculados com as imagens obtidas pelo UAS. Por fim, o “Aspirante Moura” possui diversos sensores que serão utilizados como parâmetros de comparação entre os métodos convencional e o uso de ARP. A medida entre as antenas Seapath será o objetivo da pesquisa.

3.1.2 Local da Obtenção de Dados

Para o levantamento das informações, o AvPqHo Aspirante Moura ficou atracado na parte externa do Píer Almirante Paulo Irineu Roxo Freitas (PIRF) localizado Complexo Naval Ponta da Areia (CNPA) que faz parte das dependências da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), conforme a Figura 2.

Figura 02 – Imagem com AvPqHo Aspirante “Moura” em destaque, atracado no lado externo do PIRF do CNPA



Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Essa área, por estar dentro da Baía de Guanabara, tende a ser mais abrigada, favorecendo maior acurácia nas tomadas de imagens pelo drone. Decorrente disso, a embarcação está mais protegida, resultando em menos movimento devido às intempéries do mar e da atmosfera. Além disso, o drone enfrenta menos rajadas de vento, que são menos intensas no interior da Baía de Guanabara. O ideal, no entanto, seria o navio estar atracado na parte interior do PIRF, onde sofreria ainda menos com as forças das ondas do mar. Com o cais oferecendo maior proteção contra as referidas ondas, o navio tenderia a se mover ainda menos. No entanto, por questões logísticas, a embarcação teve que atracar na área delimitada conforme apresentado na Figura 2, ficando pouco mais exposta a ação das ondas.

Outro fator a ser destacado é o horário escolhido para realizar o levantamento fotogramétrico. O período da manhã é considerado o melhor momento para essa tarefa devido aos ventos geralmente serem mais fracos devido ao ciclo diurno e às características das brisas. A brisa marítima, que sopra do oceano para a terra, é conhecida por apresentar ventos suaves, pois a diferença de pressão entre o oceano e a terra é relativamente pequena, e a massa de ar sobre o oceano muda lentamente de temperatura. Isso resulta em ventos mais fracos e estáveis durante a manhã. Levando isso em consideração, a preparação para as atividades de

levantamento fotogramétrico foi iniciada às seis da manhã, com o voo começando por volta das nove da manhã e finalizando às 10h30m, horário local.

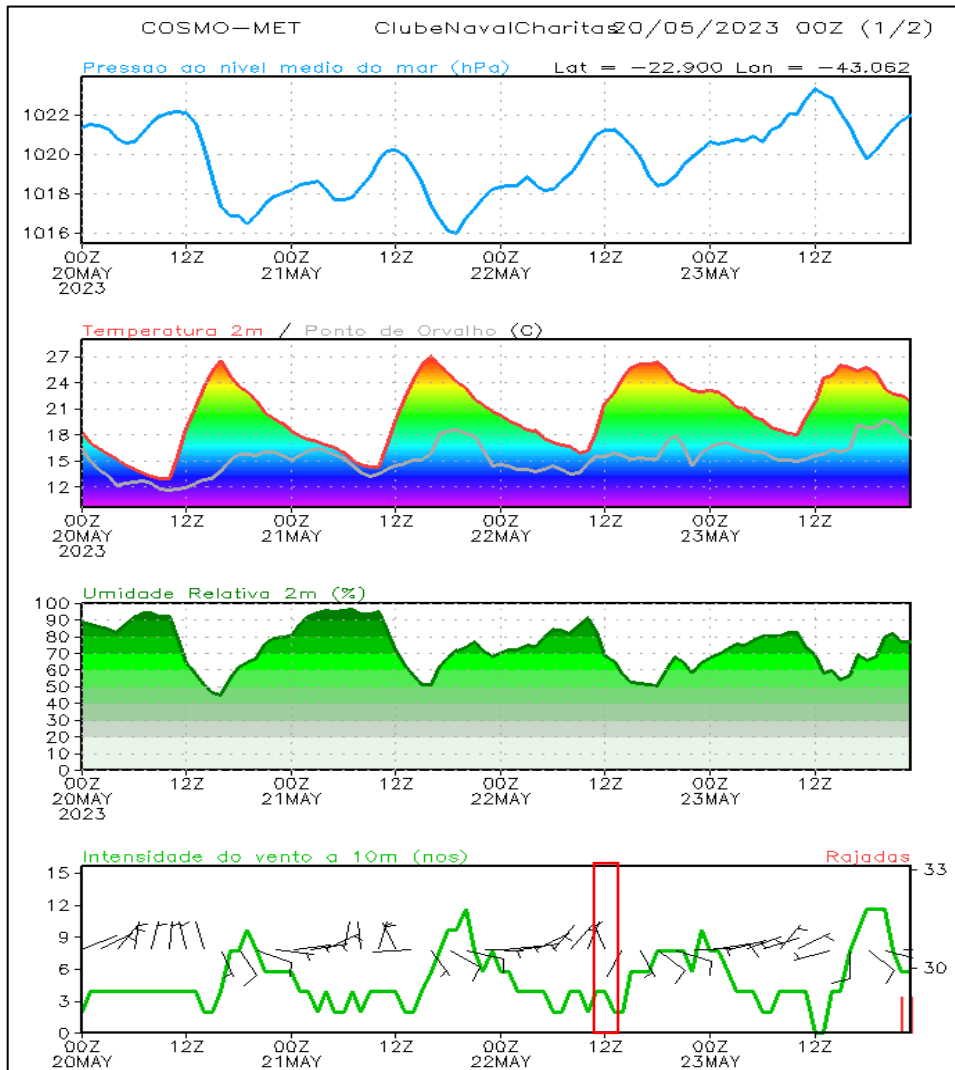
3.1.3 Previsão Meteorológica

No dia que antecedeu o levantamento fotogramétrico com o ARP foi verificada a previsão meteorológica para o dia 22 de maio de 2023 dos seguintes parâmetros: intensidade e direção do vento, visibilidade e precipitação. Esses dados foram necessários para avaliar a viabilidade em realizar a observação naquele dia, já que poderiam prejudicar a qualidade dos dados e gerar riscos de danos ao equipamento. Além disso, a baixa visibilidade poderia prejudicar a qualidade das imagens.

A previsão usada foi iniciada no dia 20 de maio às 1200Z pelo modelo COSMO do CHM. Esta previsão era a disponível no momento do planejamento da atividade. Para facilitar a identificação das condições meteorológicas, utilizou-se o meteograma gerado para o ponto do modelo representativo do Clube Naval Charitas, no horário do levantamento, ou seja, iniciando dia 22 de maio, às 0600P (0900Z) com término previsto para às 1000P (1300Z). Conforme a Figura 3, a previsão da intensidade do vento a 10 metros era de 4 nós com direção NE. O retângulo vermelho na figura está destacando o período de interesse da previsão.

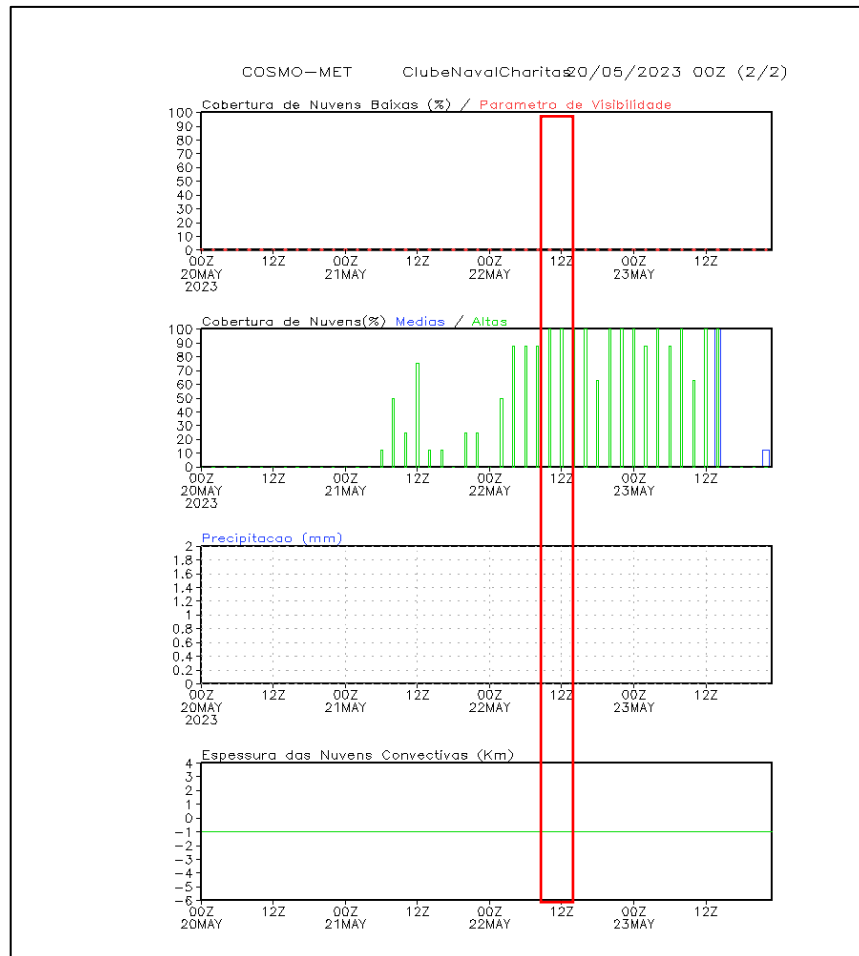
A previsão das condições de visibilidade para a realização do levantamento levou em consideração os dados da precipitação e visibilidade do meteograma para o Clube Naval Charitas do modelo atmosférico COSMO do CHM. Conforme pode ser observado na Figura 4, não havia a previsão de chuva e baixa visibilidade para o dia. Além disso, não havia previsão de nuvens baixas, apenas presença de nuvens altas no local, o que não interferiria no levantamento das imagens.

Figura 03 – Meteograma com a previsão iniciada em 20 de maio 1200Z do modelo COSMO/ CHM para o Clube Naval Charitas. O retângulo vermelho indica o período de interesse da previsão.



Fonte: CHM, 2023

Figura 04 – Meteograma da estação meteorológica do Clube Naval Charitas com horário de 1000Z às 1300Z assinalado em vermelho



Fonte: CHM, 2023

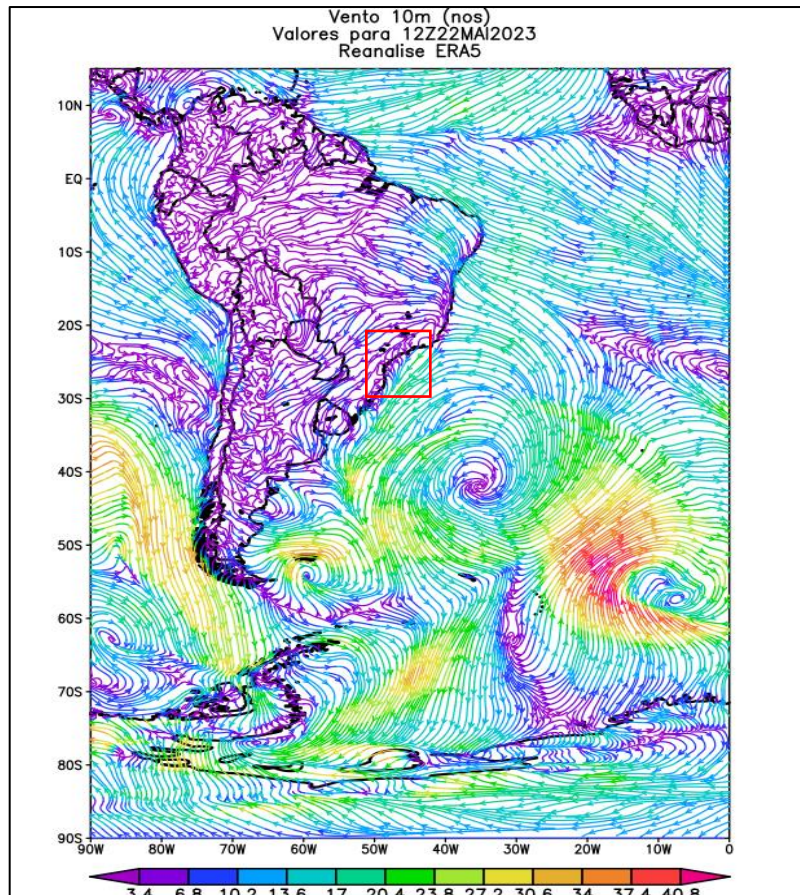
Após a realização da atividade de campo, uma breve validação da previsão meteorológica utilizada foi realizada. O objetivo desta validação foi verificar a confiabilidade da previsão do COSMO para a atividade de levantamento fotogramétrico. Os dados usados na validação foi a quinta geração de reanálises ERA5 (ECMWF Reanalysis v5), que fornece estimativas horárias de um grande número de variáveis atmosféricas e oceânicas (Figura 05). Os dados têm cobertura global com resolução de 30 km e cobinam observações históricas utilizando modelos e sistemas de assimilação de dados (HERSBACH *et. al.*, 2020, p. 1999). O software gratuito GrADS¹ foi usado para gerar produtos e imagens a partir dos dados do ERA5² de ventos a 10 metros, no período de interesse. Um exemplo de visualização é mostrado na figura 4, o qual são apresentadas linhas de corrente do vento a 10 m às 1200Z do dia 22 de

¹ GrADS The Grid Analysis and Display System

² ERA5: 5th Generation of European Reanalysis

maio. A avaliação com base nas reanálises indicou intensidade de vento próximo a região costeira do Rio de Janeiro com valores inferiores a 7 nós, com direção NE.

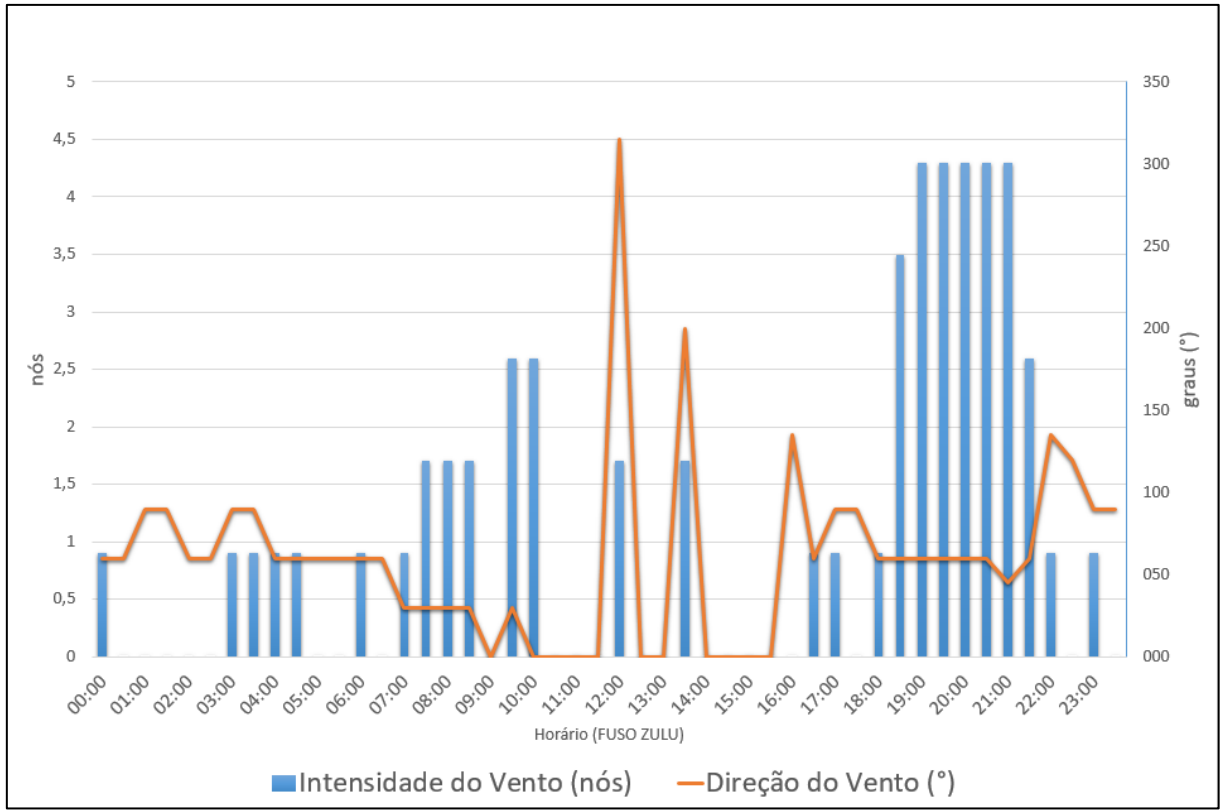
Figura 05 – Linhas de corrente de vento a 10 m com intensidade do vento (cores) em nós. O quadrado vermelho indica a região de interesse.



Fonte: Autoria do segundo-tenente Vinícius Batista

Outra informação usada na validação da previsão foram os dados meteorológicos obtidos pela estação meteorológica do Centro de Instrução e Adestramento Almirante Radler de Aquino (CIAARA), localizada próximo ao PIRF (Figura 06). Esses dados registraram ventos durante o período da manhã, entre 07h00 e 10h00 (1000Z e 1300Z), com intensidade de até 2,6 nós e direção norte (N) (Figura 5). A fraca intensidade do vento (abaixo de 5 nós) torna necessária a definição da direção que ficou dentro do quadrante previsto. Vale ressaltar que essa estação meteorológica é a mais próxima do AvPqHo “Aspirante Moura”, localizado a cerca de 140 metros do ponto de atracação do navio, o que representa maior confiabilidade para a avaliação das condições previstas para o vento no local.

Figura 06 – Gráfico da intensidade e direção do vento do dia 22MAI observado na Estação Meteorológica do CIAARA



Fonte: Estação Meteorológica do CIAARA, 2023

3.1.4 Cronograma do Experimento

Os levantamentos dos dados em campo foram obtidos em dois dias não consecutivos devido a inconsistência de dados. No primeiro dia foram obtidas as imagens do AvPqHo Aspirante Moura e o rastreamento das posições dos pontos de controle. Posteriormente, ao processar os dados do rastreamento, percebeu-se inconsistências na obtenção dos dados do dia 22 de maio. Contudo, as imagens obtidas pelo drone ficaram satisfatórias.

Após três dias, foi feito um novo rastreamento com mesmo equipamento, Novatel DLV-3, dos mesmos pontos, em condições de horário e clima parecido com o feito inicialmente. Após o processamento dos dados do segundo rastreamento, foi notório que as informações obtidas ficaram a contento (Tabela 1).

Tabela 1 – Cronograma do experimento feito em campo

Data	Equipamentos	Resultados obtidos	Avaliação
22/05/2023	Drone DJI Mavic 2 com GNSS de dupla frequência	Fotogrametria.	Satisfatório
22/05/2023	Rastreio estático com Novatel DLV-3	Dados brutos das posições dos Pontos de Controle.	Dados ausentes por erro de configuração
25/05/2023	Rastreio estático com Novatel DLV-3	Dados brutos das posições dos Pontos de Controle.	Satisfatório

Fonte: Autor, 2023

3.2 Pontos de Controle

3.2.1 Rastreador

Durante o levantamento utilizou-se o rastreador de sinais GNSS Novatel DLV-3 em conjunto com a antena Novatel GTR-702-GGL, juntamente com outros acessórios como tripé, bateria 12V e trena para medições da distância da antena até o solo (Figura 07).

Figura 07 – Imagem do rastreador Novatel DLV-3 juntamente com antena GTR-702-GGL sobre o Alvo 1



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Enquanto o voo do ARP estava em andamento e as imagens do PIRF eram adquiridas, também estava sendo realizado o rastreamento da posição do primeiro alvo. Devido a curta duração do voo, a imagem da antena pode ter afetado a precisão da foto, mas esse impacto ocorreu somente no primeiro alvo, que era o mais afastado da embarcação. Além disso, na região do alvo 1, quando foi feita a compilação das imagens no *software*, houve uma superexposição da imagem na região, impossibilitando a visualização dos objetos na área, demonstrado na Figura 8.

Figura 08 – Superexposição da imagem próximo à casa de máquina do PIRF



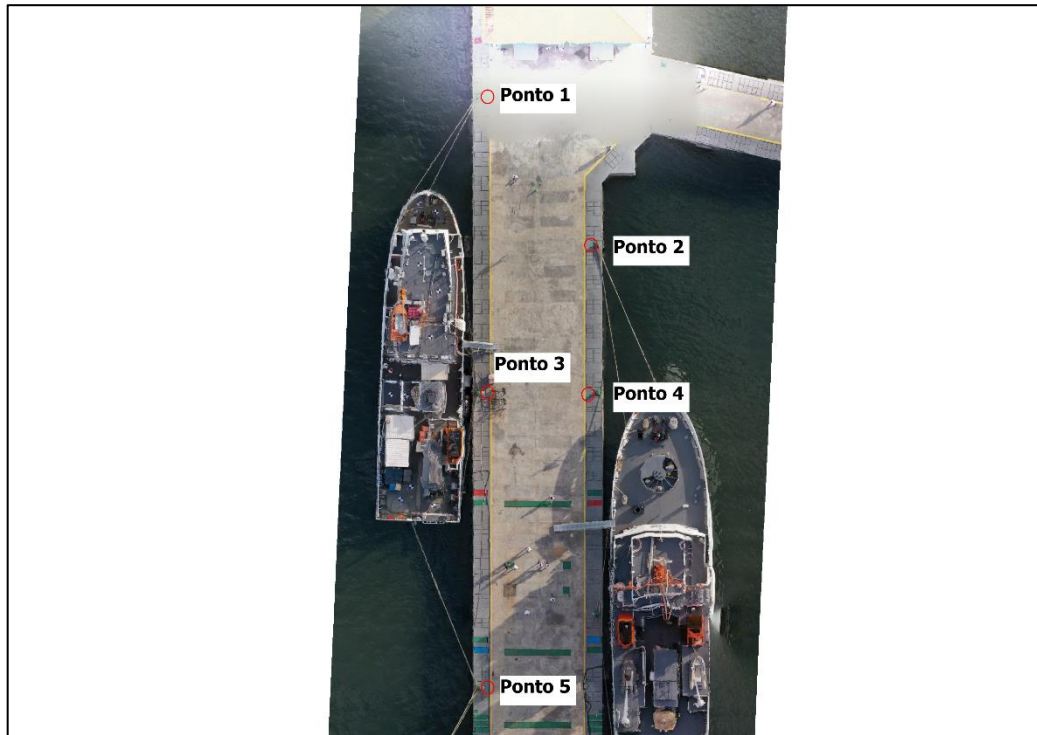
Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Cada rastreamento em cima de cada alvo teve uma média de 10 minutos, contados a partir do momento em que a Diluição de Precisão de Posição (PDOP) estava com valor menor que 3.

3.2.2 Pontos de Controle Fixados no PIRF

Os pontos de controle, que serão usados como referência para a amarração do bloco fotogramétrico e ajuste do sistema de referência gerada no software Agisoft Metashape, foram estrategicamente posicionados próximos aos cabeços localizados no PIRF (Figura 09). Para facilitar a identificação dessas posições, foram fixados alvos quadrados de 20 centímetros de lado próximos aos cabeços. Esses alvos foram distribuídos em cinco posições, o mais próximo possível do AvPqHo “Aspirante Moura”.

Figura 09 – Pontos de controle fixados no cais em cinco posições diferentes



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Em cima desses alvos, foi posicionado um tripé com a antena Novatel GTR-702-GG que seria utilizada juntamente com o receptor Novatel DLV-3 para fazer o rastreamento das posições (Figura 10). Para cada ponto, foi feito o rastreamento de 10 minutos em média, conforme descrito anteriormente.

Figura 10 – Receptor com antena posicionada sobre o ponto de controle



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

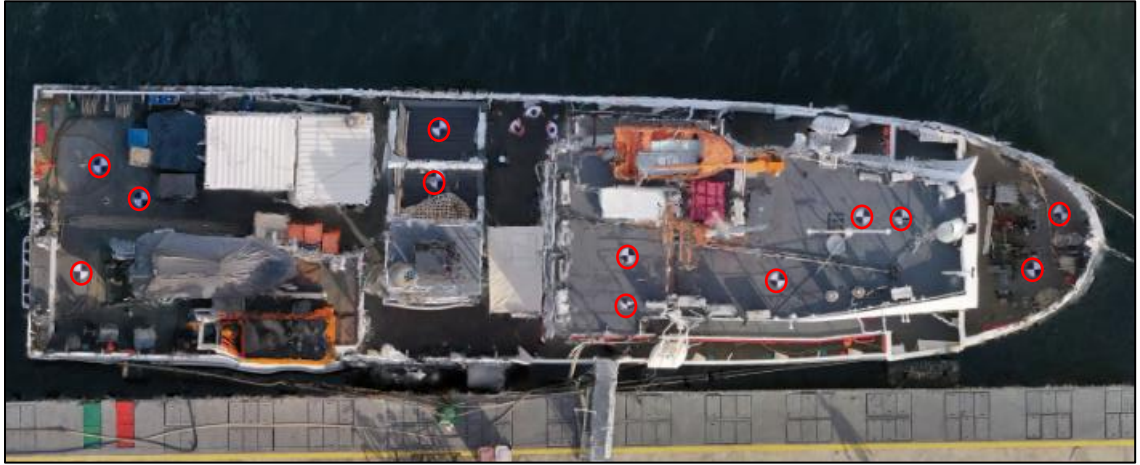
Foi configurado uma máscara de elevação de 15 graus para a recepção do sinal pela antena, para evitar efeitos de multicaminhamento gerado pela presença de alguns Navios nas proximidades.

Além disso, foi adotada a gravação de dados de posição a cada 1 segundo, que é o menor intervalo de tempo que o rastreador DLV-3 pode registrar.

3.2.3 Alvos Fixados na Embarcação

Os alvos circulares, com 20 centímetros de diâmetro, foram posicionados tanto no convés principal externo da embarcação quanto no convés sobre o tijupá (Figura 11). A alta resolução das imagens capturadas pela câmera do drone, com uma precisão de até 2 centímetros, permitiu a fácil visualização dos alvos durante o voo a uma altitude pré-determinada.

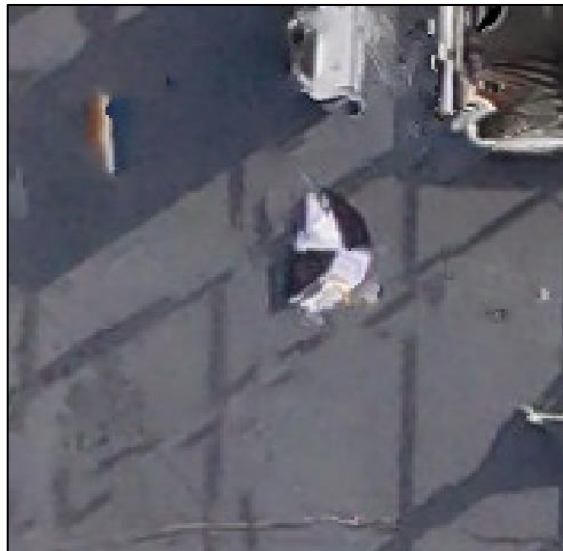
Figura 11 – Imagem superior do AvPqHo Aspirante Moura com alvos fixados com marcação circular vermelha de suas posições



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Ao longo do convés, foram dispostos um total de 12 alvos, sendo 7 deles distribuídos no convés principal e os outros 5 no convés acima do tijupá. A fixação dos alvos foi realizada utilizando fita adesiva, porém, devido às possíveis rajadas de vento, um deles acabou por virar-se (Figura 12).

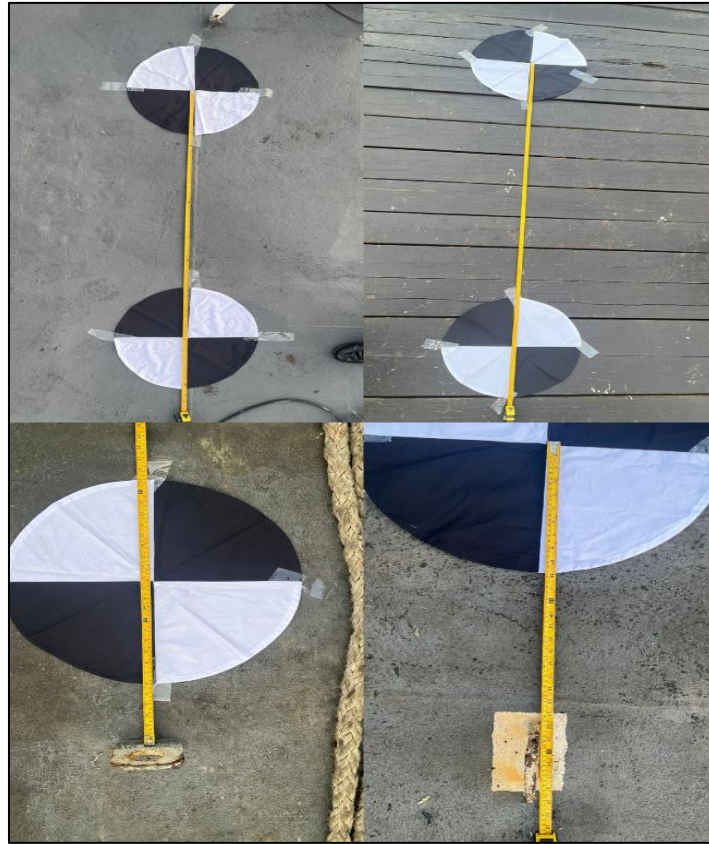
Figura 12 – Alvo virado devido ao vento



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Adicionalmente, foram realizadas medições entre os alvos e pontos fixos no navio (Figura 13). Isso foi feito com o propósito de comparar as medidas obtidas a partir do ortomosaico no pós-processamento da imagem do drone com as medidas realizadas diretamente no local.

Figura 13 – Medições com fita métrica entre alvos e em relação a pontos fixos do Navio



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

3.2.4 Processamento dos Dados dos Pontos de Controle

A distribuição dos pontos de controle é essencial para georreferenciar de maneira precisa as imagens que irão compor o ortomosaico. Para isso, os cinco pontos selecionados no PIRF foram processados como *rover*.

Para serem processados como base, foram utilizados os dados de rastreamento da estação RJNI, que é a estação da Universidade Federal Fluminense (UFF) de Niterói. Essa estação pertence a Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) dos Sistemas GNSS do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e era a mais próxima do local da pesquisa (cerca de dois quilômetros).

O *software* usado para o processamento foi o serviço de Posicionamento de Ponto Preciso (PPP) do Sistema de Referência Espacial Canadense (CSRS) que é fornecido pelo Levantamento Geodésico Canadense do *Natural Resources Canada*. O rastreamento foi do tipo estático, com passo de tempo de 1 segundo e efemérides rápidas. Os dados finais das respectivas posições e incertezas dos alvos rastreados foram apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 – Posições e Incertezas dos alvos rastreados no PIRF

Ponto	Latitude (ϕ)	Longitude (λ)	Incerteza ³ ($\pm\phi$)	Incerteza ³ ($\pm\lambda$)
Alvo 1	22° 53' 3,45196" S	43° 8' 7,71631" W	0,625 m	0,675 m
Alvo 2	22° 53' 3,97032" S	43° 8' 7,29203" W	0,542 m	0,824 m
Alvo 3	22° 53' 4,49883" S	43° 8' 7,70368" W	0,403 m	0,794 m
Alvo 4	22° 53' 4,49505" S	43° 8' 7,27634" W	0,495 m	0,975 m
Alvo 5	22° 53' 5,54124" S	43° 8' 7,69146" W	0,571 m	1,217 m

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

3.3 Gerenciamento das Informações da ARP

3.3.1 Especificação do ARP e Equipamentos Atrrelados

Para este estudo, foi empregado um UAS de baixo custo, se comparado aos demais ponta de linha, e de qualidade que tenha a capacidade de mapear um objeto com alta resolução. O DJI MAVIC 2 Pro é um UAS que pode ser adquirido por cerca de R\$20.000 (US\$ 4.000, valor referente a 2023), e é equipado com IMU e GNSS com bandas L1 e L2. Com bateria com capacidade de 3850mAh, pode permanecer no ar por até 31 minutos (sem vento), inclui uma câmera de 20 megapixels e tamanho e peso reduzidos, conforme as propriedades mostradas na Tabela 3 (DJI, 2023). Esse ARP pertence ao Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e é utilizado pela Seção de Informação Topogeodésica para os levantamentos fotogramétricos de áreas costeiras, encostas de rios, Organizações Militares (OM) ou quaisquer outras demandas requeridas pela MB.

Tabela 3 – Propriedades do DJI Mavic 2 Pro

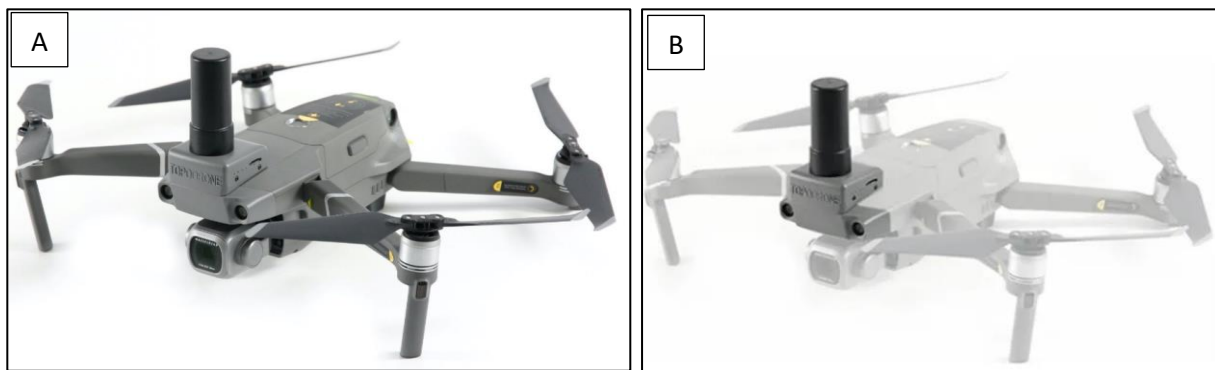
Propriedades	Especificações
Dimensões (aberto)	322×242×84 mm
Peso	907 gramas
Tempo de Voo	3850 mAh (31 minutos)
GNSS	GPS e Glonass
Tamanho da foto	5472×3648 pixels
ISO	100-3200 (auto)
Formato da foto	JPEG / DNG (RAW)

Fonte: DJI, 2023

³ Incerteza (ϕ e λ): Intervalo de confiança de 95% ($\sigma = 1,96$).

O DJI Mavic 2 Pro também possui o componente adquirido separadamente chamado Topodrone PPK (Figura 14), que é utilizado como receptor GNSS de maior precisão para método de correção de posicionamento que utiliza dados de satélite para corrigir as informações de GPS coletadas em campo, aprimorando significativamente a precisão da localização. A utilização dos dados desse item complementar será muito importante na etapa de processamento o qual por ter correção de posicionamento que utiliza dados de satélite, irá melhorar a qualidade dos dados de localização, minimizando erros de posicionamento. Isso resulta em modelos 3D mais precisos, mapeamento georreferenciado de alta qualidade e medições mais confiáveis das características do terreno ou objetos capturados nas imagens.

Figura 14 – Imagem do DJI Mavic 2 Pro



Legenda: A) DJI Mavic 2 Pro; B) Topodrone PPK (em destaque)

Fonte: DJI e Topodrone, 2023

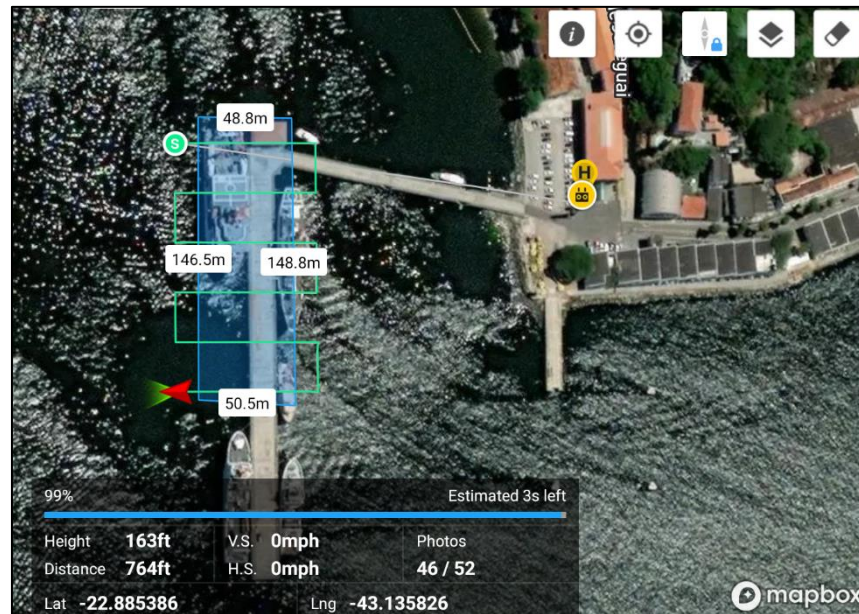
3.3.2 Plano de Voo

O plano de voo do drone foi elaborado para garantir uma densidade de imagens mais alta na área onde o AvPqHo “Aspirante Moura” estava localizado. Isso foi feito com o objetivo de obter uma maior quantidade de pontos de dados detalhados durante o processamento, visando a criação de uma ortomosaico preciso. Para alcançar esse resultado, foram realizados dois voos com trajetórias perpendiculares, focalizando exclusivamente na região do PIRF próxima ao Navio.

O primeiro voo foi realizado iniciando uma trajetória de Oeste para Leste, obtendo imagens quando estivesse na direção equatorial, mantendo uma altitude média de 163 pés (50 metros). O segundo voo (Figura 16), por sua vez, foi iniciado no sentido de Norte para Sul, obtendo imagens quando estivesse na direção meridional, também com altitude média de 163

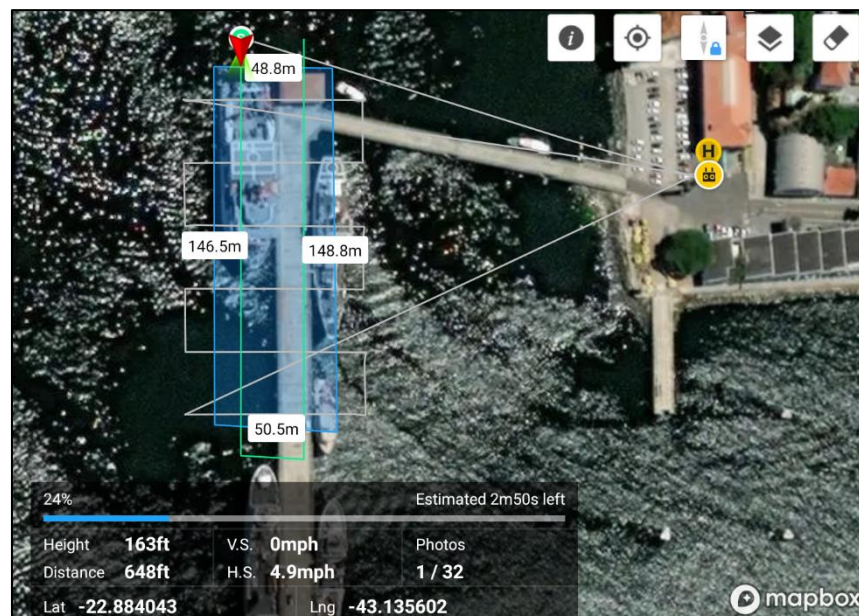
pés. É importante destacar que a altitude escolhida foi definida dentro de limites específicos: a altitude máxima foi ajustada de acordo com a zona de proibição de voo (*No Flight Zone*), enquanto a altitude mínima considerou a altura do mastro mais alto do navio atracado no PIRF.

Figura 15 – Trajetória de voo iniciado no sentido Oeste-Leste



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Figura 16 – Trajetória do voo iniciado no sentido Norte-Sul



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Outrossim, o plano de voo é preparado previamente usando o *software* fornecido pela própria DJI. Durante o voo, é possível acompanhar em tempo real a posição do drone, sua altitude e as velocidades tanto vertical quanto horizontal.

3.3.3 Autorização SARPAS

Antes de realizar qualquer voo com drones, é de extrema importância que o operador siga as regulamentações locais em vigor e observe os limites de voo estabelecidos para a área. Isso é essencial para garantir a segurança tanto do equipamento quanto das pessoas envolvidas na pesquisa, bem como para prevenir riscos para terceiros.

Uma das condições para operar um drone entre 131 pés e 400 pés (aproximadamente 40 a 120 metros de altitude) é a obrigação de manter uma distância mínima de 5 NM (9 quilômetros) de aeródromos cadastrados, conforme estipulado na ICA 100-40/2020. Para facilitar esse controle, a Força Aérea Brasileira (FAB) desenvolveu o Sistema de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (SARPAS). Esse sistema avalia e autoriza ou nega voos que possam representar riscos, especialmente quando há aeronaves voando em baixa altitude próximo a aeródromos ou em áreas restritas.

Nesse contexto, no presente estudo, devido à proximidade do PIRF em relação à cabeceira da pista do Aeroporto Santos Dumont (cerca de 3.600 metros), foi necessário realizar o cadastro no sistema SARPAS e solicitar uma autorização especial. Isso permitiu que o voo do drone ocorresse a uma altitude de 136 pés (aproximadamente 50 metros) com segurança.

Por fim, também se considerou a altitude mínima necessária para evitar colisões com as partes de quaisquer navios nas proximidades. Após análise, definiu-se que uma altitude de 136 pés garantiria que o drone não entrasse em contato com nenhum mastro de embarcação próxima, ao mesmo tempo em que manteria uma margem de segurança em relação às altitudes de voo de outras aeronaves na região.

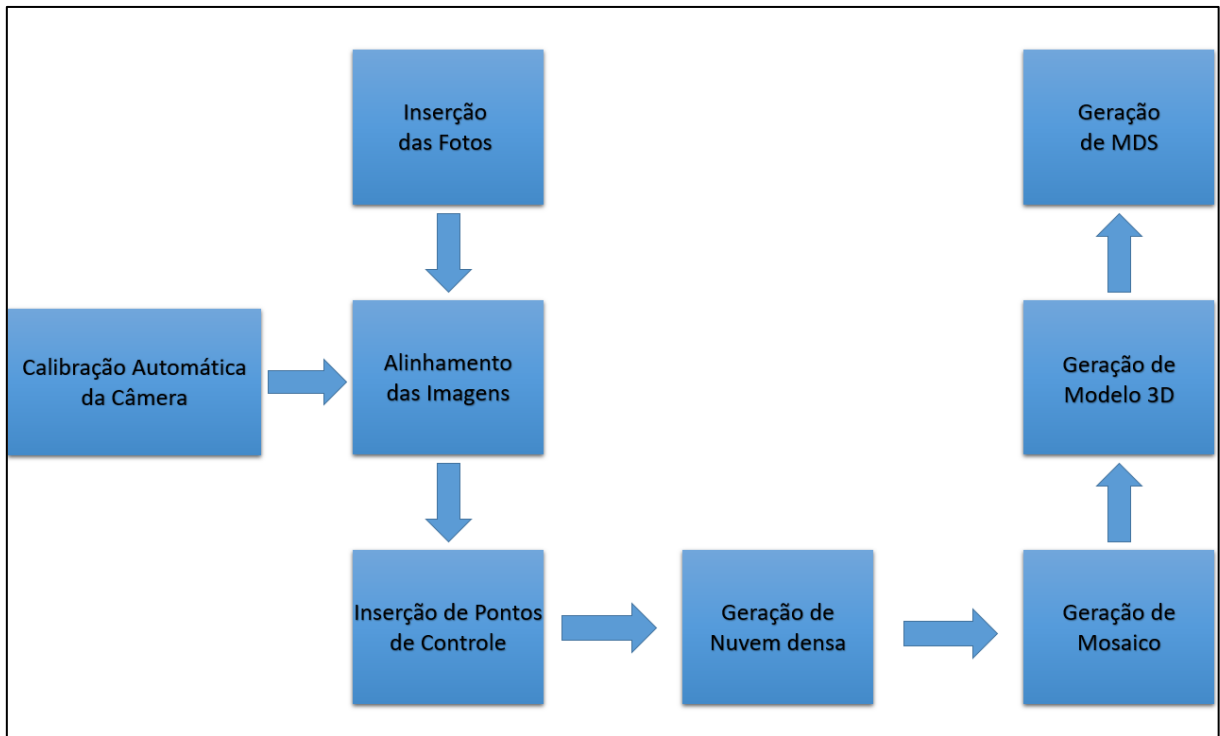
3.3.4 Software de Processamento de Imagens

O programa utilizado para processamento fotogramétrico das imagens digitais obtidas com o drone para geração de dados espaciais 3D foi o *Agisoft Metashape*. Esse software permite processar imagens da câmera RGB em informações espaciais de alta qualidade na forma de nuvens de pontos densas, modelos poligonais texturizados e ortomosaicos georreferenciados (AGISOFT LLC, 2021). Todos os conjuntos de dados obtidos, durante o levantamento fotogramétrico, foram utilizados para implementar o algoritmo SfM, reconstruindo uma imagem 3D a partir de coleções de imagens 2D georreferenciadas.

Para fins práticos, as configurações de calibração automática do *Agisoft Metashape* foram utilizadas para calibrar a câmera. Os ajustes precisos da câmera melhoram

substancialmente a acurácia (YANG *et al.*, 2022). Os parâmetros de calibração incluíram comprimento focal (f), coordenadas do ponto principal (c_x e c_y), coeficientes de distorção radial (k_1 , k_2 e k_3) e coeficientes de distorção tangencial (p_1 e p_2). O fluxo de trabalho do processamento das imagens pode ser demonstrado abaixo representado pela Figura 17:

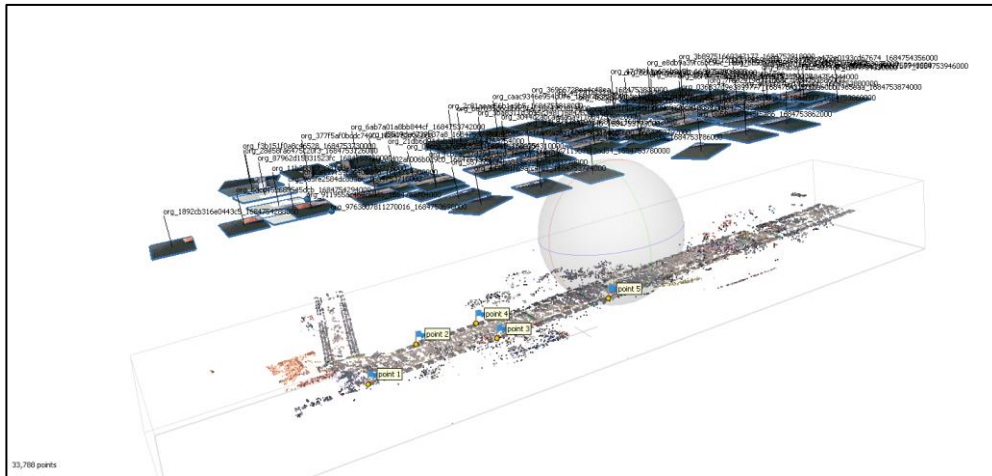
Figura 17 – Fluxo de processamento das imagens georreferenciadas no *software* Agisoft Metashape



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

A utilização do receptor GNSS de dupla frequência desempenha papel fundamental em aprimorar a precisão da localização do ARP no momento da captura da imagem. Isso, por sua vez, contribui para um processamento mais preciso das posições individuais das imagens, resultando em uma formação mais precisa da nuvem de pontos 3D. Durante o processamento, as imagens georreferenciadas (Figura 18) passam pelo procedimento de SfM (Structure from Motion), que envolve a extração das principais características das imagens, correspondência dessas características, verificação geométrica e, por fim, reconstrução da estrutura (NAN YE *et al.*, 2021).

Figura 18 – Pré-visualização do alinhamento das imagens georreferenciadas, da nuvem de pontos e dos pontos de controle



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

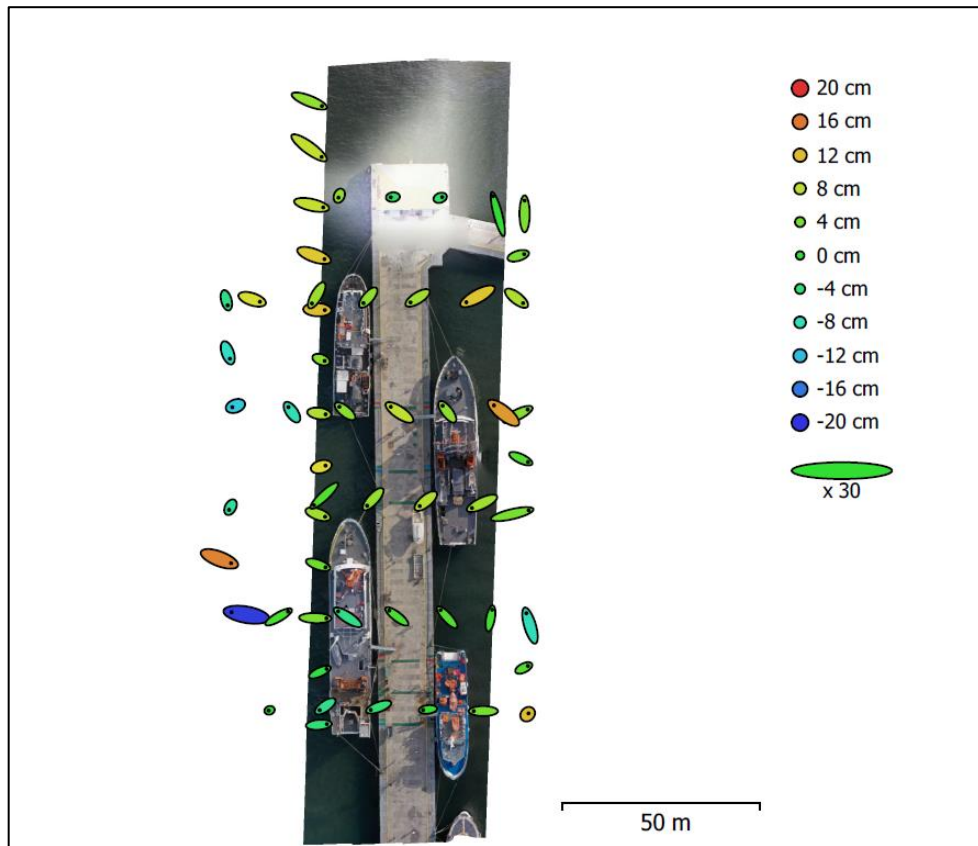
É importante destacar que os pontos de controle também são importantes no processamento, uma vez que permitem o ajuste posicional das imagens utilizando um conjunto reduzido de pontos de controle em solo, aproveitando a precisão do controle aéreo (MOLINA, 2014). As posições desses pontos foram obtidas conforme descrito no item 3.2.4, e esses dados de posicionamento são inseridos manualmente ao fornecer as coordenadas de latitude e longitude de cada alvo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resultado do Processamento das Imagens

No relatório gerado após o processamento no *software Agisoft Metashape*, foi quantificado as estimativas de erros provenientes da câmera utilizada. Na Figura 19, é possível identificar as estimativas de erros em regiões específicas do ortomosaico, onde a localização estimada da câmera é indicada por um ponto preto ao centro da elipse. O erro ao longo do eixo "Z", que representa a altitude, é representado pela cor da elipse. Já os erros nos eixos "X" e "Y", que correspondem à longitude e latitude, respectivamente, são apresentados pela forma elipsoidal.

Figura 19 – Erros estimados para cada posição de obtenção de imagem da câmera



Fonte: Relatório final de pós-processamento Agisoft Metashape, 2023

A partir das informações contidas na imagem, foi elaborado uma tabela que apresenta a média dos erros da câmera. A Tabela 4 exibe os valores médios dos erros da câmera em diferentes posições, abrangendo cada eixo, além de fornecer o valor médio final dos erros.

Tabela 4 – Tabela de erros da câmera para cada eixo da imagem em cada posição de registro

Erro “X” (cm)	Erro “Y” (cm)	Erro “Z” (cm)	Erro “XY” (cm)	Erro Total (cm)
12,7921	9,40251	7,1996	15,8759	17,4323

Fonte: Relatório final de pós-processamento Agisoft Metashape, 2023

Nota: Dados trabalhados pelo autor

Entretanto, considerando que esses dados de erro médio englobam uma área extensa e não representam com precisão as estimativas de erro em regiões específicas, realizou-se medições das distâncias entre os alvos e as características fixas e visíveis do navio. Isso foi feito utilizando o *software* de código aberto QGIS 3.32, com base nas imagens capturadas pelo drone e processadas pelo *software* Agisoft Metashape. Essa plataforma de GIS permite a visualização, edição e análise de dados georreferenciados (Figura 20). Como as imagens resultam em um

mosaico de ortofotos, espera-se que as distâncias calculadas entre os pontos correspondam às medidas obtidas *in loco* com o uso de uma fita métrica.

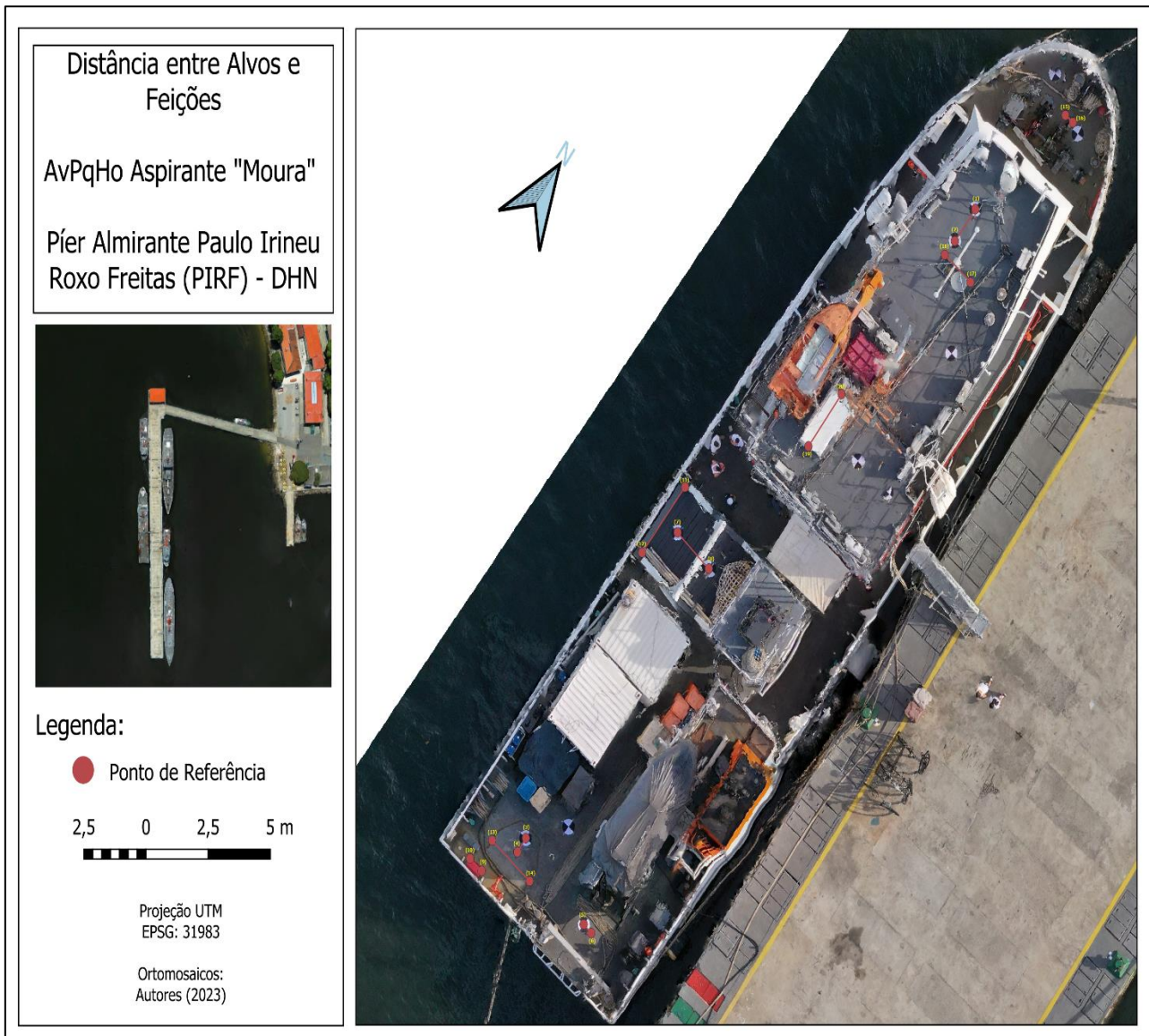
A Tabela 5 apresenta uma comparação entre as medições obtidas com a fita métrica pouco antes do voo do drone e os valores obtidos através da ferramenta de medição disponível no *software* QGIS:

Tabela 5 – Medições dos pontos obtidas com a fita métrica e valores obtidos com as ortofotos através da ferramenta de medição do *software* QGIS

Item	Pontos	Fita Métrica (m)	Ortofotos (m)	Erro (m)
Medição 1	1 - 2	1,3	1,29	0,01
Medição 2	3 - 4	0,555	0,557	-0,002
Medição 3	5 - 6	0,4	0,406	-0,006
Medição 4	7 - 8	1,7	1,698	0,002
Medição 5	9 - 10	0,65	0,606	0,044
Medição 6	11 - 12	2,736	2,71	0,026
Medição 7	13 - 14	1,985	1,974	0,011
Medição 8	15 - 16	0,37	0,372	-0,002
Medição 9	17 - 18	1,315	1,345	-0,03
Medição 10	19 - 20	2,01	2,06	-0,05

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Figura 20 – AvPqHo Aspirante “Moura” com pontos amostrais em destaque e suas respectivas numerações



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Vale ressaltar que valores negativos foram utilizados para representar as distâncias obtidas a partir de ortofotos, quando estas se mostraram menores do que as medições feitas com fita métrica.

A partir dos dados obtidos, foram feitos testes de qualidade utilizando análise estatística para verificar se os valores observados estavam dentro dos parâmetros esperados.

4.2 Verificação da Qualidade do Ortomosaico Produzido a partir das Imagens Obtidas pela ARP

Partindo das medições demonstradas na Tabela 5, foram feitas análises de qualidade para os erros entre os valores das medições obtidas pelo drone e as obtidas pela fita métrica.

Primeiramente, foi feito o teste de controle de qualidade por t-Student, conforme proposto por Merchant (*apud* Sopchaki *et al.*, 2018, p. 207), para avaliar se a média dos valores dos erros pelas medições assumem valores nulos. Foram feitas as seguintes proposições:

$$H_0: \Delta L = 0$$

$$H_1: \Delta L \neq 0$$

Dado que ΔL corresponde à média das discrepâncias das medidas das ortofotos e fita métrica.

O t Student amostral foi calculado a partir da fórmula:

$$t_{calculado} = \frac{\Delta L}{\sigma} \sqrt{n}$$

Dado que σ corresponde ao desvio padrão dos resultados obtidos das medidas e n é o número de amostras.

O desvio padrão da amostra corresponde a raiz quadrada da variância e é representado pela equação:

$$\sigma = \sqrt{Var(x)}$$

Tanto a variância como o desvio médio são medidas de dispersão calculadas em relação à média das observações. Assim como a média, a variância (ou o desvio padrão) é uma boa medida se a distribuição dos dados for aproximadamente normal (MORETTIN e BUSSAD, 2010, p. 40). Logo, a fim de se obter um gráfico da normal e assim analisar a dispersão em cima da média, foi obtido o número e intervalo de classes pela seguinte fórmula:

$$\Delta = \sqrt{n}$$

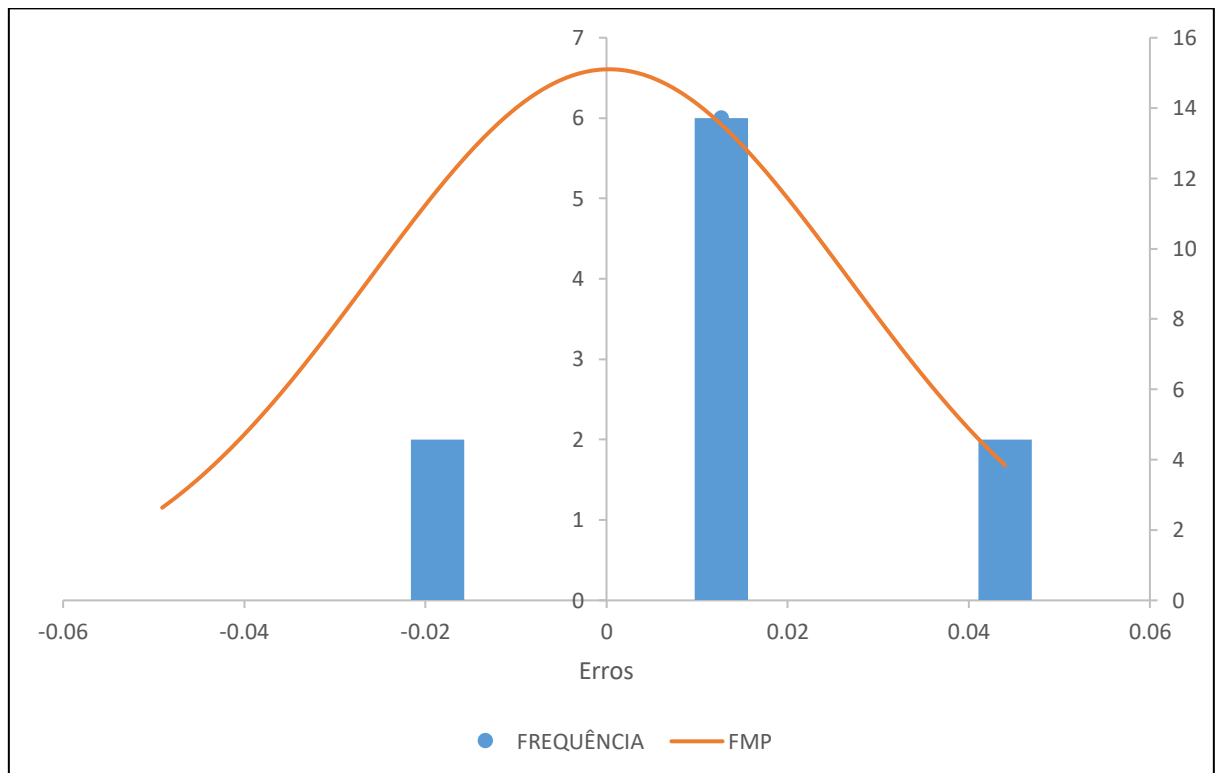
$$h = \frac{(x_n - x_1)}{\Delta}$$

Dado que h é o valor da amplitude de classe, x_1 e x_n equivalem, respectivamente, ao primeiro e último valor das discrepâncias observadas e Δ corresponde ao número de classe, foi delineado a tabela com a distribuição de frequências e histograma obtendo os seguintes resultados:

Tabela 6 – Erros distribuídos em intervalos de classes com análise de frequência e porcentagem

Intervalo dos Erros (m)	Frequência	Frequência Acumulada	Porcentagem (%)	Porcentagem Acumulada (%)
-0,05 — -0,0187	2	2	20	20
-0,0187 — 0,0127	6	8	60	80
0,0127 — 0,044	2	10	20	100
Total	10	-	100	-

Fonte: Autor, 2023

Figura 21 – Histograma de frequência com curva normal FMP⁴ proveniente da distribuição em classes dos resultados dos erros

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Nesse último gráfico (Figura 21), é possível perceber a tendência dos dados o qual maior parte desses estão com deslocamento para valores mais próximos do limite superior.

Outrossim, a fim de determinar quais valores estavam gerando essa tendência, foi avaliado através do intervalo de confiança quais eram os erros que estavam excedendo os

⁴ FPM: Função Massa de Probabilidade

limites toleráveis. Utilizando-se do valor de $t_{calculado}$ e considerando um grau de confiança de 95%, foi possível determinar os limites inferiores e superiores a partir da equação:

$$LI = \mu - t_{calculado}^{(95\%)} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

$$LS = \mu + t_{calculado}^{(95\%)} \left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}} \right)$$

$$LI \leq Res\acute{d}uos \leq LS$$

Sabendo que os erros deveriam estar dentro desse intervalo de Limite Inferior (LI) e Limite Superior (LS), foi possível obter os seguintes resultados da Tabela 7:

Tabela 7 – Tabela de resultado da avaliação das medições após análise comparativo com o intervalo de confiança

Item	Pontos	Erros (m)	Resultado
Medição 1	1 - 2	0,01	Aprovado
Medição 2	3 - 4	-0,002	Aprovado
Medição 3	5 - 6	-0,006	Aprovado
Medição 4	7 - 8	0,002	Aprovado
Medição 5	9 - 10	0,044	Reprovado
Medição 6	11 - 12	0,026	Reprovado
Medição 7	13 - 14	0,011	Aprovado
Medição 8	15 - 16	-0,002	Aprovado
Medição 9	17 - 18	-0,03	Reprovado
Medição 10	19 - 20	-0,05	Reprovado

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Todas as medições que foram feitas entre os alvos fixados na embarcação tiveram os seus valores de erro dentro do tolerável, enquanto que as medições feitas entre feições ou entre alvos e feições, tiveram parte delas reprovadas.

4.3 Comparação entre os Dados da ARP e o Método Convencional

Optou-se pela utilização da antena SeaPath como equipamento para realizar a medição e a comparação entre os dados obtidos na ortofoto e as distâncias registradas no relatório de *offset* (Figura 22). Essa escolha se fundamentou pela maior clareza de contorno, que a tornou

melhor identificável na ortofoto, destacando-se como a opção mais apropriada para esse propósito. Algumas outras antenas que ficavam fixadas no balaústre do tijupá não foram possíveis de identificação na ortoimagem devido a deformações geradas pelo mosaico.

O conjunto de antenas SeaPath é composto por duas antenas GNSS interligadas por uma barra de metal, cuja distância aproximada entre os centros de fase das duas antenas foi determinada com base na ortoimagem. É importante ressaltar que não foram posicionados alvos no local designado como centro de fase, o que prejudicou na determinação do posicionamento do ponto de interesse.

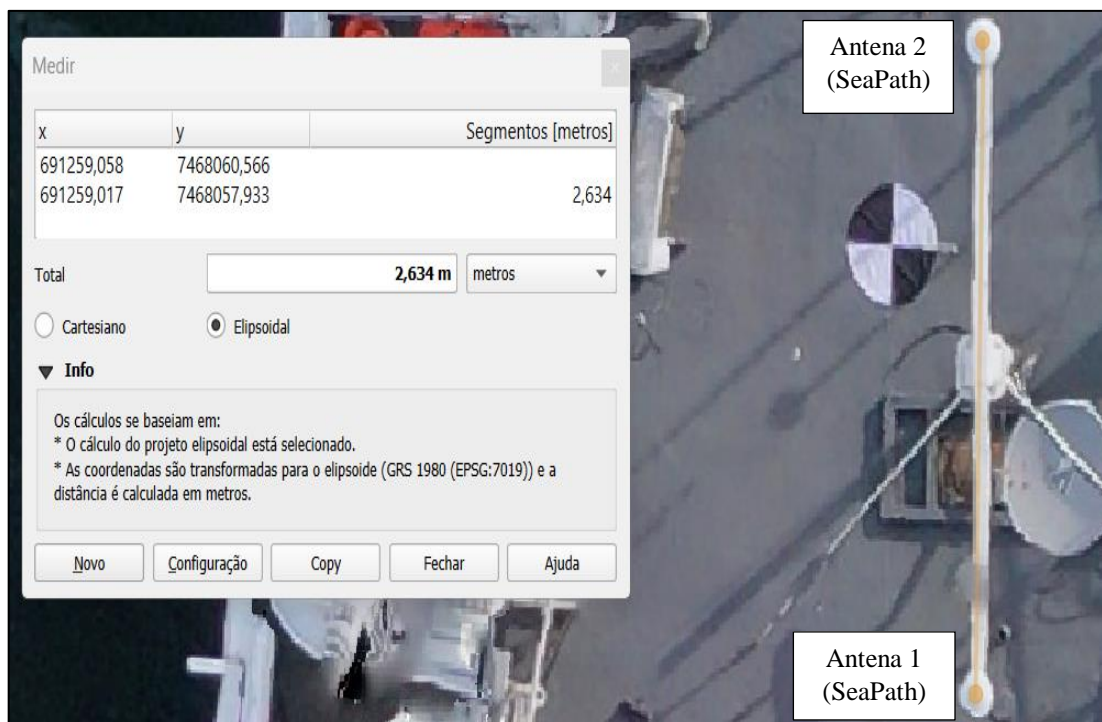
Como resultado das medições do SeaPath pelo mosaico, foi obtido os seguintes resultados da Tabela 8:

Tabela 8 – Resultado da medição entre centro de fase das antenas 1 e 2 do Seapath utilizando QGIS

Item	Objetos	Comprimento (m)
Conjunto Antena SeaPath	Antena 1 – Antena 2	2,634

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

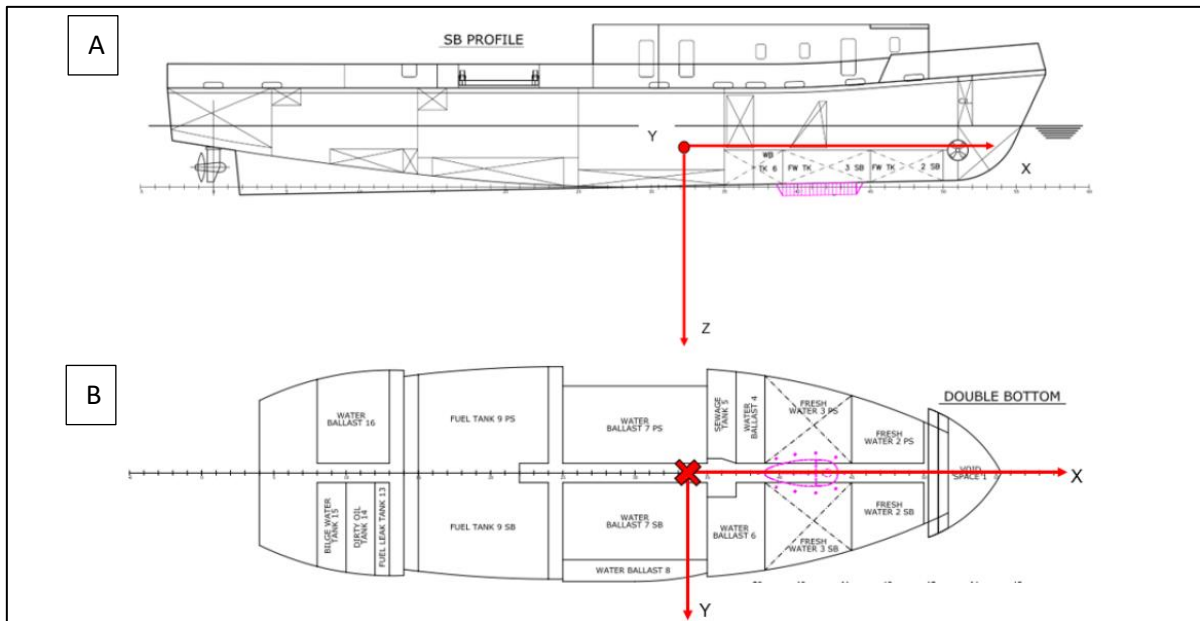
Figura 22 – Imagem da medição entre as antenas do SeaPath utilizando QGIS



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

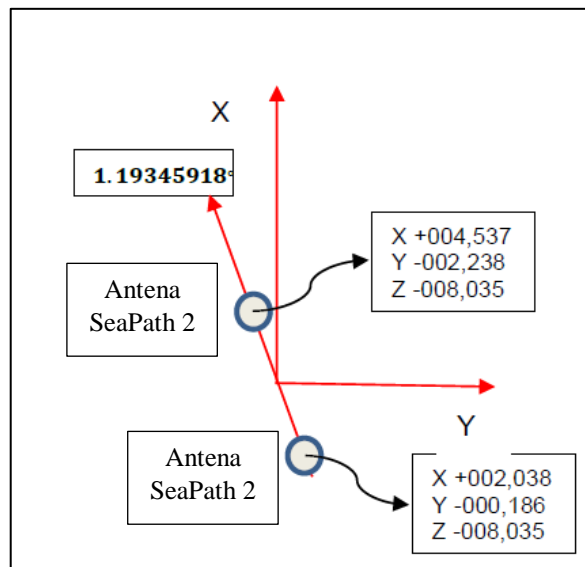
A medição entre as antenas GNSS do SeaPath obtida pelo relatório de medição de *offset* realizado no ano de 2022, demonstra o posicionamento das antenas em relação aos eixos X e Y do SCE, conforme Figuras 23 e 24:

Figura 23 – Sistema de Coordenadas da Embarcação (SCE) vista de uma perspectiva (A) lateral e (B) superior



Fonte: Relatório de medição de offset do Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico Aspirante “Moura”, 2022

Figura 24 – Posicionamento das antenas 1 e 2 em relação ao SCE da AvPqHo Aspirante “Moura”



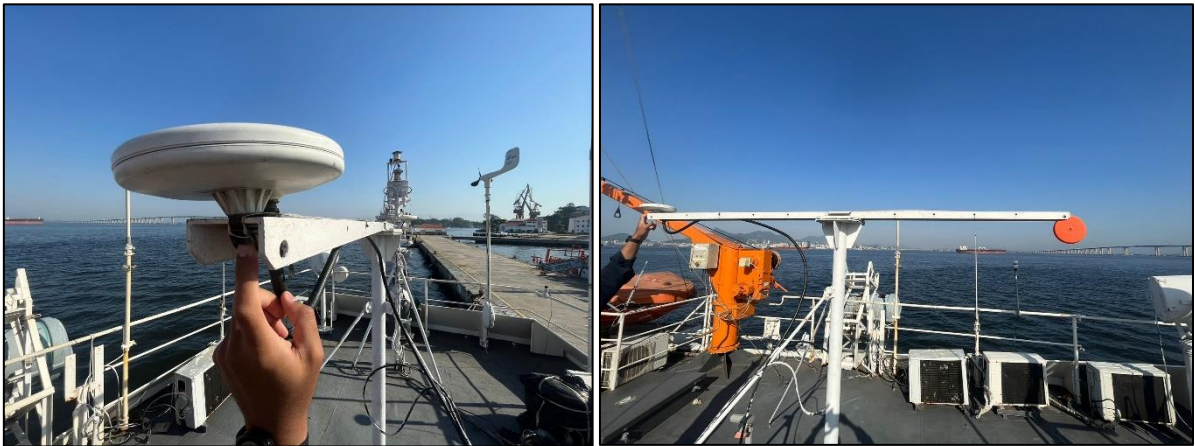
Fonte: Relatório de medição de offset do Aviso de Pesquisa Hidroceanográfico Aspirante “Moura”, 2022

Para obter a distância linear “D” entre as duas antenas, foi utilizada a seguinte equação trigonométrica, sendo x_1 e y_1 a posição da antena 1, x_2 e y_2 a posição da antena 2:

$$D = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

A medição foi feita também diretamente com a trena (Figura 25), sendo o valor obtido igual ao resultado calculado no relatório final do offset.

Figura 25 – Medições feitas diretamente por fita métrica da barra de sustentação das antenas Seapath



Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

Após a obtenção da distância linear, procedeu-se ao cálculo da diferença entre o valor obtido na medição pela ortofoto e aquele obtido pelo método convencional apresentado no relatório, apresentado na Tabela 9:

Tabela 9 – Tabela comparativa entre a medição da distância linear entre as antenas 1 e 2 do Seapath utilizando relatório da medição de *offset* realizado pelo método convencional e pelo QGIS através da ortofoto

Item	Relatório (m)	Ortofoto (m)	Erro (m)
Conjunto Antena SeaPath	3,2335	2,634	0,5995

Fonte: Elaborada pelo autor, 2023

O erro da antena se destacou como o maior dentre todas as medições realizadas. Existem algumas razões possíveis para essas discrepâncias. Em primeiro lugar, os pontos de interesse não foram adequadamente identificados, tornando difícil determinar com precisão o local específico da antena onde as medições foram feitas. Além disso, as periferias mais externas da superfície visível das antenas apresentam dificuldades de distinção em relação ao piso devido ao baixo contraste em relação ao convés do Tijupá, que está em um plano diferente. Outro fator

que pode ter contribuído para as discrepâncias é a estimativa incorreta da altura das antenas, que foram superestimadas pelo autor durante o processamento da imagem no QGIS, levando a medições imprecisas.

Outrossim, também foi calculado o erro para avaliar se estava dentro dos limites estabelecidos no intervalo de confiança. Os resultados indicaram que, o erro da antena excedeu os limites predefinidos no intervalo de confiança, o que levou à conclusão de que não estava em conformidade com os critérios estabelecidos.

5. CONCLUSÃO

O novo método utilizando ARP para medições de *offset* dos equipamentos dos Navios não tem intenção de substituir o convencional, mas auxiliar nos casos em que precise maior rapidez ou na impossibilidade de docagem da embarcação, para a medição de distância entre objetos foto identificáveis que estão em planos bem definidos. Conforme apresentado nos resultados, devido a boa definição das imagens, foi possível obter medições com poucas diferenças, entre o medido por fita métrica e medido pelo software QGIS, com diferença média de 18 mm e sendo 2 mm a menor diferença encontrada.

Uma das maiores dificuldades desse método é a definição do centro do SCE que normalmente é a MRU, o qual fica inacessível visualmente para as imagens de drone. A determinação desse ponto é essencial para se estabelecer as coordenadas entre os equipamentos, já que dele advém as informações de atitude da embarcação, importante no processamento de dados. Além disso, equipamentos abaixo da linha d'água não estão visíveis, sendo impossível determinar pelo método utilizado.

As maiores imprecisões nas medições através das ortofotos surgiram principalmente quando se tentava medir objetos a partir de características pouco definidas na imagem. O pixel que deveria servir como referência para a marcação da posição do objeto carecia de clareza na imagem, resultando em uma margem de incerteza na localização do ponto desejado e, conseqüentemente, em medições menos precisas. Portanto, fica evidente que a fixação de alvos bem definidos na imagem, como é realizado no método convencional de medição de *offset*, é essencial para minimizar a ocorrência de erros.

O desenvolvimento deste estudo atingiu o objetivo específico de avaliar as diferenças entre distâncias medidas com o produto de fotogrametria e distâncias medidas diretamente *in-loco*. Isso ocorreu antes de prosseguir com medições de *offset* mais detalhadas, que englobariam diferenças lineares e angulares entre as coordenadas dos equipamentos. Trata-se de uma etapa

anterior à definição das coordenadas e parâmetros angulares e lineares em um levantamento de *offsets*. Com esta metodologia, não é possível estabelecer as medições, uma vez que a expansão da medição de *offset* de equipamentos implicaria na necessidade de desenvolver um método adicional para estabelecer as coordenadas da MRU e dos equipamentos submersos.

Portanto, apesar dessas limitações, foi possível verificar a possibilidade de se extrair medições compatíveis com as dimensões registradas diretamente. Além disso, essa pesquisa foi importante para apresentar as dificuldades e fontes de erros inerentes aos métodos empregados.

Por fim, algumas sugestões para trabalhos futuros sobre medição de *offset* utilizando ARPs são: a materialização perene de referências visuais do SCE que sejam foto identificáveis e a pré-sinalização dos sensores que se deseja estudar para melhorar a identificação nas fotos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT LLC. **Intelligent photogrammetry**. Rússia, 2021. Disponível em: <https://www.agisoft.com/pdf/metashape_presentation.pdf>. Acessado em: 12 de ago. de 2023.

CARVAJAL-RAMÍREZ, F.; NAVARRO-ORTEGA, A. D.; AGUERA-VEJA, F.; MARTINEZ-CARRICONDO, P.; MANCINI, F.. **Virtual reconstruction of damaged archaeological sites based on Unmanned Aerial Vehicle Photogrammetry and 3D modelling. Study case of a southeastern Iberia production area in the Bronze Age**. Measurement. Espanha: Elsevier, 2019, p. 225 – 236.

DIAS, L. V. A. **Estudo e análise de diferentes métodos de calibração de câmeras**. Tese (Bacharelado em Ciência da Computação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, p. 17 – 19. 2015. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/15915/3/PG_COCIC_2015_2_04.pdf>. Acessado em: 12 de ago. 2023.

DJI. **Manual de especificações DJI Mavic 2 PRO**. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/mavic-2/info>>. Acessado em: 12 de ago. de 2023.

FAVARO, Cristian. Boa maré deve elevar faturamento do setor náutico no país a R\$ 840 milhões em 2021, alta de 10% frente a 2020. **Valor Econômico**, São Paulo, 04 de nov. de 2021. Disponível em: <<https://valor.globo.com/empresas/noticia/2021/11/04/boa-mare-deve-elevar-faturamento-do-setor-nautico-no-pais-a-r-840-milhoes-em-2021-alta-de-10percent-frente-a-2020.ghtml>>. Acessado em: 20 de jun. de 2023.

HERSBACH, H.; BELL, B.; BERRIDFORD, P.; HIRAHARA, S.; HORÁNYI, A. et al The ERA5 global reanalysis. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 146, n. 730, p. 1999-2000, 2020.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Indústria, Inovação e Infraestrutura: meta 9.1 – Brasil**. Brasília: Ipea, 2019. Disponível em: <<https://www.ipea.gov.br/ods/ods9.html>>. Acessado em: 20 de jun. de 2023.

MAZON, H.; ZACCHI, G. P.; MARTINS, R. **Calibração de câmeras e fontes de erros para triangulação fotogramétrica**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto -

SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 30 de abril a 05 de maio de 2011, INPE. p. 9000 – 9008. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/marte/2011/07.29.19.16/doc/p1602.pdf>>. Acessado em: 20 de jun. de 2023.

MINISTÉRIO DA DEFESA. COMANDO DA AERONÁUTICA. DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREA. Portaria n° 928/DNOR8, de 15 de maio de 2023. Aprova a reedição da instrução regulamentar dos procedimentos e responsabilidades das Aeronaves não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro (ICA 100-40). Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/publicacao/ica-100-40>>. Acessado em: 12 de ago. de 2023.

MOLINA, P. I. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review**. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. Espanha: Elsevier, 2014, p. 79 – 97.

MORETTIN, P. A.; BUSSAD, W. O. **Estatística Básica**. 6. ed. – São Paulo: Saraiva, 2010. ISBN 978-85-02-08177-2.

NAN, Y.; ZHU, H.; WEI, M.; ZHANG, L. **Accurate and dense point cloud generation for industrial Measurement via target-free photogrammetry**. Optics and Lasers in Engineering. China: Elsevier, 2021, 09 p.

NARDEZ, N. N. et al. **Metodologia para determinação dos afastamentos (offset) entre sensores numa embarcação hidrográfica**. Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas. Curitiba: Editora da UFPR, 2010. Disponível em: <<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44432>>. Acessado em: 20 de jun. 2023.

PIGNANELLI, A. S.; SANTOS J. B. **Desafios à competitividade das exportações brasileiras**. Confederação Nacional da Indústria, Escola de Administração de Empresas de São Paulo da Fundação Getúlio Vargas, Brasília, p. 32 - 35. 2016. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/29345/FGV%20EAESP%20e%20CNI%20-%20Desafios%20a%cc%80%20Competitividade%20das%20Exportac%cc%a7o%cc%83es%20Brasileiras%202016.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acessado em: 20 de jun. de 2023.

SOPCHAKI, C. H.; PAZ, O. L. de S.; GRAÇA, N. L. S. de S.; SAMPAIO, T. V. M. **Verificação da qualidade de ortomosaicos produzidos a partir de imagens obtidas com**

aeronave remotamente pilotada sem o uso de pontos de apoio. Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, v.43, p. 200 - 214, 2018.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos da Fotogrametria – geoprocessamento.** Departamento de cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, p. 07 – 10, 2000. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br/arquivos/id_submenu/815/fotogrametria_material_01.pdf>. Acessado em: 12 de ago. de 2023.

WEIS, M. G.; PESSI, D. D.; AQUINO, J. V. .; LUIZ, R. B. .; MOREIRA, R. M. .; PARANHOS FILHO, A. C.; SILVA, N. M. da. **Quality assessment of products generated by survey of area using remotely piloted aircraft and control points.** Research, Society and Development, [S. l.], v. 11, n. 4, p. e2111426396, 2022. DOI: 10.33448/rsd-v11i4.26396. Disponível em: <<https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/26396>>. Acessado em: 20 de jun. 2023.

YANG, B.; et al. **A novel approach of efficient 3D reconstruction for real scene using unmanned aerial vehicle oblique photogrammetry with five cameras.** Computers and Electrical Engineering. China: Elsevier, 2022, 15 p.