



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS  
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em Ciências de Informação  
Geográfica

**Aplicação de Técnicas da Fotogramétria Digital com Recurso a  
Imagens Colhidas por Drones na Produção de um Mapa  
Planialtimétrico.**

**Estudo de Caso: Bairro Chiango**

**Autora:** Jéssica Elisa Joaquim Siteo

Maputo, Maio de 2024



UNIVERSIDADE  
E D U A R D O  
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS  
Departamento de Matemática e Informática

Trabalho de Licenciatura em Ciências de Informação  
Geográfica

**Aplicação de Técnicas da Fotogrametria Digital com Recurso  
a Imagens Colhidas por Drones na Produção de um Mapa  
Planialtimétrico.**

**Estudo de Caso:** Bairro Chiango

**Autora:** Jéssica Elisa Joaquim Siteo

**Supervisor:** Lic. Fracesse Mauro Bacião, UEM

Maputo, Maio de 2024

## Dedicatória

Dedico este trabalho para a minha família, mãe **Jossefina Amélia Vilanculos** que em vida deu-me o seu amor, carinho, dedicação, paciência soube me educar que serviu-me de força e coragem de lutar para a vida.

Dedico também aos meus irmãos **António Wilton Siteo** e **Ertínia Jonasse Vilanculos** e tia **Lize Laura Vilanculos** por estarem sempre presentes na minha vida, pelo apoio moral, por terem me encorajado e compreendido a razão da minha formação.

## **Declaração de Honra**

Eu, **Jéssica Elisa Joaquim Siteo**, declaro por minha honra que o presente trabalho de licenciatura é resultado da minha investigação sendo que o processo foi concebido para ser submetido apenas para obtenção do grau de licenciatura em Ciências de Informação Geográfica no Departamento de Matemática e Informática, na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane, constando no texto as fontes bibliográficas consultadas para a sua concepção.

Maputo, Maio de 2024

---

(Jéssica Elisa Joaquim Siteo)

## **Agradecimentos**

Agradeço em primeiro lugar á Deus, pelo dom da vida por ter me dado força e saúde para o término do curso de licenciatura.

Aos meus irmãos António Wilton e Ertínia joaquim Siteo por terem financiado os meus estudos durante todo curso incansavelmente apesar de algumas dificuldades o meu muito obrigado.

O meu agradecimento aos docentes do Departamento de Matemática e Informática (DMI) por terem contribuído na minha formação, em especial ao meu supervisor Lic. Francesse Mauro, pela assistencia, apoio prestado na realização bibliográfica análise e organização do texto, na realização do trabalho.

Agradeço também aos meus colegas e amigos David Mangana, Cadete Covane, Jana Mabutana, Gílvia Tsandzana, e aos de mais colegas sem deixar de lado colegas do laboral Télvin Banze, Dénil Banze e Manuel Bila . E a todos que directa ou indirectamente fizeram parte da minha força académica.

## Resumo

Este trabalho teve como objetivo aplicar as técnicas fotogramétricas digitais na realização de mapeamentos planialtimétricos utilizando imagens obtidas por câmaras acopladas em drones. Para isso, foi realizado um voo com o drone equipado com uma câmara de alta resolução e as imagens obtidas foram processadas com o *software PIX4D Mapper*. O processamento fotogramétrico permitiu a geração de Ortofotos, Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais de Terreno (MDT). Foi usado o aplicativo Drone Deploy disponível para sistemas Android e IOS, a 70 metros de altura e com 80% de sobreposição lateral e 30 % de longitudinal. Este aplicativo possibilitou planejar o voo, tendo em vista os seguintes parâmetros: velocidade: 3m/s, altitude do voo: 120 m, tempo de voo: 45 min, captura das fotos: 2-3 segundos, sobreposição das imagens: 80% de sobreposição lateral e 30% de sobreposição frontal. A partir dos resultados obtidos, foi possível realizar a restituição do terreno e obter precisões altas no levantamento, com erros marginais inferiores a 10 cm em relação a pontos de controle terrestre. Esses resultados mostram que essa técnica pode ser aplicada em diversas áreas, como planeamento urbano, monitoria ambiental e gestão de recursos naturais, permitindo a obtenção de informações precisas em um curto período de tempo.

Com base nos resultados, foi possível produzir o mapa topográfico da zona fotografada. A precisão dos resultados dependeu de diversos fatores, como a qualidade das imagens obtidas, a precisão dos pontos de controle e a escolha dos parâmetros de processamento. Foi feito o cálculo do Erro Médio Quadrático (RMSE) que teve como precisão planimétrica 0,027 m, o que significa que, em média, as coordenadas horizontais dos pontos nos resultados diferiram cerca de 0,027 m das coordenadas reais, isso demonstra um bom nível de precisão nas medições planimétricas. Precisão altimétrica, o erro médio quadrático (RMSE) foi de 0,043 m, o mesmo indica que, em média, as diferenças altimétricas entre os valores calculados e os valores reais foram de aproximadamente 0,043 m. Isso sugere um nível satisfatório de precisão nas medições altimétricas.

No entanto, os resultados obtidos demonstraram que a técnica de mapeamento planialtimétrico a partir de drones equipados com câmaras e processamento fotogramétrico é uma alternativa viável e eficiente para a geração de informações topográficas e de relevo.

Palavras-chave: fotogrametria Digital, Mapeamento Topografico, Drone.

## **Abreviaturas**

GPS – Sistema Global de Posicionamento

GNSS – Sistema de Navegação Global por Satélite

INGD – Instituto Nacional de Gestão e Redução do Risco de Desastres

MDS – Modelo Digital da Superfície

MDT - Modelo Digital do Terreno

VANT- Veículos Aéreos Não Tripulados

UTM – Universal Transversa de Mercator

SFM – Structure From Motion

RMSE – Razão do Erro Médio Quadrático

## Lista de Figuras

Figura 1: Drone Multirroto	15
Figura 2: Drone de Asa Fixa	16
Figura 3: Aerofotogrametria (Droneng, 2020)	19
Figura 4: Mosaico de Imagens (Droneng, 2020)	20
Figura 5: Pixel em fotogrametria	21
Figura 6: Sistema RTK	23
Figura 7: Alvo Natural (Droneng, 2021)	24
Figura 8: Alvo Natural	25
Figura 9: Localização da área de estudo	28
Figura 10: Licença do Software Pix4d Mapper Enterprize 2023	30
Figura 11: DJI Phantom 4 pro (DJI, 2020)	31
Figura 12: Foto meramente ilustrativa do software Dronedeploy (Dronedeploy, 2021)	33
Figura 13: GPS RTK Modelo 180 CHC (CPE, 2021)	34
Figura 14: Aerotriangulação visão do Pix4d Mapper	37
Figura 15: Ortomosaico da área de estudo	41
Figura 16: Modelo Digital de Superfície (MDS)	43
Figura 17: Modelo Digital de Elevação (MDE)	45
Figura 18: Curvas de Nível	47
Figura 19: Mapa Planialtimétrico	50

## Lista de Tabelas

Tabela 1: Descrição dos dados usados	29
Tabela 2: Descrição das Plataformas computacionais usadas	29
Tabela 3: Preenchimento dos POI no Pix4d Mapper	36
Tabela 4: Descrição do Fluxo de Atividades e Resultados esperados	38
Tabela 5: Valores de média, desvio-padrão e RMS	48



## Índice

Dedicatória .....	1
Declaração de Honra.....	2
Agradecimento.....	3
Resumo.....	4
Abreviaturas.....	5
Lista de Figuras.....	6
Introdução.....	10
1.1 Contextualização .....	10
1.2 Justificativa .....	11
1.3 Definição do Problema .....	11
1.4 Relevância do Estudo.....	12
1.5 Objectivos .....	13
1.5.1 Objectivo Geral.....	13
1.5.2 Objectivos Específicos.....	13
Revisão da Literatura.....	14
2.1 Drones .....	14
2.2 Tipos de Drones.....	15
2.2.1 Drones multirotores.....	15
2.2.2 Drone de Asa Fixa .....	15
2.3 Produtos gerados .....	16
2.3.1 Ortofoto .....	16
2.3.2 Modelo Digital do Terreno (MDT).....	17
2.3.3 Modelo Digital da Superfície (MDS).....	17
2.3.4 Modelo Digital de Elevação (MDE) .....	18
2.4 Fotogrametria .....	18
2.5 Conceitos técnicos .....	20
2.5.1 Pixel.....	20

2.5.2 <i>Ground Sample Distance (GSD)</i> .....	21
2.5.3 Sistema de Coordenadas .....	21
2.5.4 Sistema de coordenadas do terreno.....	22
2.6 Topografia.....	22
2.6.1 Levantamento Planialtimétrico .....	22
2.7 RTK ( <i>Real Time Kinematic</i> ) .....	23
2.8 Pontos De Apoio .....	23
2.9 Alvos Naturais .....	24
2.10 Alvos Artificiais.....	24
2.11 Orientação Interna.....	25
2.12 Orientação Externa.....	25
.....	27
Área de Estudo.....	27
.....	29
Materiais e Métodos.....	29
4.1.1 <i>Software Pix4d Mapper</i> .....	30
4.1.2 Drone.....	31
4.2 Metodologia do Trabalho .....	31
4.2.1 Revisão da Literatura .....	32
4.3 Marcação de Pontos de Controle e Levantamento GNSS .....	33
4.3.2 Aquisição das Fotografias .....	34
4.2.4 Processamento Fotogramétrico .....	35
4.2.3.1 .....	35
4.2.3.2 Orientação externa.....	36
4.2.3.3 Triangulação aérea: .....	36
4.2.3.4 Obtenção do ortofoto e DEM: .....	37
4.2.4 Resumo do Fluxo de Actividades.....	37
4.2.1 Fluxograma metodológico .....	39

Resultados e Discussões.....	40
5.1. Ortomosaico .....	40
6. Conclusão e Recomendações.....	51
7. Referências Bibliográficas.....	53

## Introdução

No presente capítulo serão apresentados aspetos conceituais e introdutórios sobre o espaço geográfico, fotogrametria digital e levantamento topográfico por Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS), bem como apresentar o problema, os objectivos, a relevância de estudo do ponto de vista da sua aplicabilidade bem como a proposta de solução para o problema identificado.

### 1.1 Contextualização

O espaço geográfico encontra-se em constantes mudanças, seja por interferência de fenómenos naturais ou pela acção do Homem. Geralmente estas mudanças são sempre mais rápidas que o processo de produção cartográfica. Este processo durante muitos anos tem sido realizado por técnicas das Fotogrametria. Devido a algumas características destas técnicas, principalmente em termos de cobertura da área a ser levantada e resolução temporal, tornam-se inviáveis para cobertura de pequenas áreas, pois o custo inerente a este tipo de trabalho não justifica (Eisenbeiss, 2009).

Como alternativa surgiram no mercado para aplicações de mapeamento, a tecnologia de veículos aéreos não tripulados (VANTs). Esta tecnologia proporciona baixo custo de aquisição de dados e alta qualidade geométrica, assim como permite que os resultados sejam integração em Sistemas de Informação Geográfica. Deste modo, estas técnicas de extração de informação sobre ortofotos podem ser usadas por exemplo com a finalidade de avaliação do crescimento urbano de uma área ou ainda a detecção de alterações ocorridas. Os resultados provenientes destes processos podem ser analisados em ambiente SIG e posteriormente integrados numa base de dados geográficos, permitindo desta forma a gestão e atualização da informação nela contida (Tahar, 2012).

O presente trabalho tem como objectivo principal mostrar as técnicas fotogramétricas digitais usadas no processamento de imagens aéreas obtidas por via dos VANT's com vista a obtenção de Plantas Planialtimétricas bem como integrar os dados gerados numa base de dados geográfica, permitindo desta forma a possibilidade de actualização sempre que for necessário.

## **1.2 Justificativa**

O presente estudo é de especial importância pois visa mostrar que a utilização de Drones na Fotogrametria proporciona uma riqueza de detalhe, com agilidade, muito superior aos métodos topográficos clássicos. Segundo Eisenbeiss (2009), a quantidade de dados obtidos em um levantamento aéreo é muito maior, o que garante uma qualidade de representação mais fiel da superfície do terreno e reduz os custos associados a esse tipo de levantamento.

A escolha da área de estudo baseou-se na prerrogativa de que o bairro de Chiango ainda não possui uma planta planialtimétrica da área e nem uma base cadastral das entidades espaciais existentes na área, o que constitui uma desvantagem caso seja necessário implantar um projecto na região. A Topografia realizada por drones, tem o seu custo bastante reduzido e maioríssima agilidade a se comparar à topografia convencional (Eisenbeiss, 2009).

## **1.3 Definição do Problema**

As áreas urbanas caracterizam-se por serem sistemas dinâmicos e complexos onde confluem diferentes processos físicos, sociais, meio ambientais e económicos. Assim sendo, no âmbito local, as problemáticas estão associadas às condições de vida da população no contexto de um mundo globalizado (Habitação, 2011).

Para este caso em particular mais precisamente no Bairro de Chiango sofreu uma dinâmica muito grande em termos de ocupação e expansão urbana nos últimos anos, e esta não foi acompanhada com a produção de cartografia actualizada (Moore et al., 2013).

Um dos problemas que é comumente discutido entre o uso da Topografia convencional é o alto custo associado a este tipo de levantamento, bem como o tempo de execução que costuma ser longo (dependendo da área em estudo), o número de recursos necessários para a concretização do trabalho, a agilidade, e a capacidade técnica do processamento de dados.

Como forma de responder ao problema supracitado, no presente trabalho serão utilizadas técnicas fotogramétricas e de Cadastro para a produção de plantas planialtimétricas uma vez que facilitam o processo de colecta, processamento e armazenamento de informações espaciais.

## 1.4 Relevância do Estudo

O propósito deste trabalho é fornecer uma fonte metodológica valiosa para pesquisas futuras na área de Topografia e Fotogrametria, especialmente aquelas relacionadas ao levantamento topográfico utilizando drones. A metodologia empregada neste estudo baseou-se na extensa pesquisa e comparação de dados entre métodos convencionais e as tecnologias mais recentes disponíveis. O foco principal é a apresentação detalhada de um levantamento planialtimétrico por meio do mapeamento aéreo com drones, destacando também a utilização de *software* para a obtenção de produtos específicos gerados durante o processo.

O presente trabalho possui relevância científica nas áreas de Fotogrametria e Topografia uma vez que irá contribuir em trabalhos futuros ligados ao levantamento topográfico por drones através da implementação da metodologia usada no presente trabalho que baseou-se na pesquisa e comparação de dados sobre os métodos convencionais e das novas tecnologias, priorizando como tema central a demonstração de um levantamento planialtimétrico através do mapeamento aéreo com drones, além do uso de *software* para a obtenção de determinados produtos gerados que serão mostrados em detalhes.

O presente trabalho possui ainda relevância econômica uma vez apresenta melhor custo benefício em relação ao levantamento topográfico tradicional, por reduzir o tempo em campo, e em relação a outros métodos de levantamento com geração de imagens aéreas, como os que utilizam de aviões e outras aeronaves (Moore et al., 2013).

O presente trabalho tem ainda relevância social uma vez que este estudo poderá contribuir na resolução de conflitos de terra que pode ser originado pela não existência de informação cadastral sobre o uso da terra na área em estudo, contribuição essa que pode ser feita através da cooperação entre as autoridades governamentais e as autoridades comunitárias no sentido de fornecer informações para minimizar os conflitos de terra pois permitirá avaliações regulares e análise de conflitos.

## **1.5 Objectivos**

### **1.5.1 Objectivo Geral**

Aplicar técnicas da Fotogrametria Digital, no processamento de imagens colhidas por drones com vista a produzir uma planta topográfica.

### **1.5.2 Objectivos Específicos**

- Corrigir geometricamente as imagens de modo a ter imagens Ortoretificadas;
- Gerar o modelo tridimensional esparsa da cena na forma de uma nuvem de pontos 3-D;
- Avaliar os Resultados obtidos pela aérotrigulação dos modelos através do método EMQ (Erro Médio Quadrático);
- Elaborar a Planta Topográfica do Bairro de Chiango.

## Revisão da Literatura

Neste capítulo serão apresentados os conteúdos relacionados com a revisão Bibliográfica referente a consolidação da informação e discussão de vários autores sobre a fotogrametria aérea desde os meios de obtenção de dados, tratamento das imagens, equipamentos e sensores usados no levantamento aerofotogramétrico por Drones.

### 2.1 Drones

São veículos aéreos não tripulados que podem ser controlados remotamente ou podem operar autonomamente. Eles são equipados com sistemas de navegação, sensores e câmaras para executar diversas tarefas, desde capturar imagens aéreas até transportar carga (LaMarca, 2017).

Os drones têm sido amplamente utilizados nas últimas décadas em uma variedade de aplicações, incluindo mapeamento, agricultura de precisão, monitoramento de recursos naturais, entrega de pacotes, inspeções industriais, vigilância e segurança, entre outros. Além disso, os drones têm sido utilizados em diversas áreas, como pesquisas científicas, análises ambientais, engenharia civil, entre outras (LaMarca, 2017).

Segundo Kumar et al. (2012), os drones são "veículos aéreos não tripulados que podem ser programados para voar em uma trajetória pré-definida". Entretanto Robinson et al. (2013) definem os drones como "veículos aéreos não tripulados que são capazes de operar de forma autônoma ou com controle remoto".

De acordo com Kumar et al. (2012), as aplicações dos drones são diversas dentre elas destacam-se:

- Na agricultura de precisão, os drones podem ser usados para mapear áreas de cultivo, monitorar a saúde das plantas e aplicar defensivos de forma mais eficiente;
- Na indústria de energia, os drones podem ser usados para inspecionar torres de transmissão e linhas de energia, bem como para mapear recursos naturais, como reservas de petróleo e gás; e
- Na área de segurança, os drones podem ser utilizados para vigilância em áreas de alto risco e em operações de busca e resgate.



## 2.2 Tipos de Drones

Existem diversos tipos de drones disponíveis no mercado, com diferentes tamanhos, formatos e funcionalidades. Aqui estão alguns exemplos dos principais tipos de drones:

### 2.2.1 Drones multirrotores

É a categoria mais popular desses equipamentos e são amplamente utilizados em produções cinematográficas, publicitárias e até em atividades recreativas. Os multirrotores são como mini helicópteros, têm decolagem e pouso na vertical. Realizam voos de 25 minutos, em média, e podem ser programados para voo automático ou manual, dependendo do objetivo da operação (Medina, 2012).



Figura 1: Drone Multirrotor<sup>1</sup>

### 2.2.2 Drone de Asa Fixa

Os Drones de asa fixa são como mini aviões. O sistema de lançamento, em geral, dá-se com auxílio de uma catapulta e o pouso pode ser feito “de barriga” ou com auxílio de um paraquedas. Esse tipo de equipamento geralmente tem maior autonomia de voo do que os multirrotores, ou seja, cerca 50 minutos de operação dependendo do modelo e são mais indicados para áreas mais extensas (Groetelaars, 2014).

---

<sup>1</sup>Fonte: [https://th.bing.com/th/id/OIP.WQ4n\\_nTG04-ozkEvFX34AHaEO?pid=ImgDet&rs=1](https://th.bing.com/th/id/OIP.WQ4n_nTG04-ozkEvFX34AHaEO?pid=ImgDet&rs=1) (Acessado 10.02.2023)



Figura 2: Drone de Asa Fixa<sup>2</sup>

## 2.3 Produtos gerados

Neste Subcapítulo serão apresentados os principais produtos que podem ser gerados através da fotogrametria Digital por Drones

### 2.3.1 Ortofoto

Conhecida também por ortomosaico, que é uma fotografia aérea produzida em escala e georreferenciada. Essa fotografia possibilita realizar medições de distâncias, em suas respectivas posições geográficas. Uma ortofoto é uma representação cartográfica de um determinado local da superfície terrestre produzida por um conjunto de imagens aéreas adquiridas por um avião ou satélite (Lima, 2018). Lopes (1987) acrescenta que a geração das ortofotos aéreas é por meio de uma ação denominada retificação diferencial ou ortorretificação, que elimina o deslocamento da imagem causado pela inclinação e relevo.

Segundo Campiteli (2016 apud GALO 2016), o uso de ortofotos comparado com mapas, apresenta vantagens como:

- Propriedades geométricas da ortofoto possuem qualidade pictoriais de fotos aéreas o que traduz em maior precisão, mesmo sendo o mesmo de um mapa;
- Oferece uma visão mais clara do terreno do que os mapas em si, com informações visuais completas e fáceis de identificar e reconhecer. Ajudam a melhorar a qualidade da pesquisa na área.

---

<sup>2</sup> Fonte: <https://dronelife.com/wp-content/uploads/2021/02/eBee-Geo-Top-1200x675-c2b5ff2-300x169.png> (Acessado 10.02.2023)

### **2.3.2 Modelo Digital do Terreno (MDT)**

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma representação matemática da distribuição de fenômenos espaciais que mudam continuamente na superfície da terra (Felgueiras e Câmara, 2004).

Enquanto que de acordo com DESTRI (1987), o MDT é um conjunto de pontos tridimensionais dispostos em um plano de acordo com uma distribuição definida, podendo ser um triângulo ou um quadrilátero regular. As aplicações do Modelo Digital do Terreno, MDT, são variadas.

De acordo com Portugal (1999), elas são, dentre outras mais:

- Arquivo de dados de altimetria para mapas topográficos digitais;
- Reconhecimento e cálculo de volume para cortes e aterros para projetos;
- Visualização 3D do terreno;
- Planeamento de traçado de estradas e linhas de plantio;
- Estudo estatístico dos tipos de terreno;
- Identificação de áreas de possível inundação.

O MDT apresenta apenas as informações referentes ao terreno que está sendo modelado. Já o MDE (Modelo Digital de Elevação) pode representar informações do terreno, como também de informações existentes sobre este, como vegetação, edificação etc.

### **2.3.3 Modelo Digital da Superfície (MDS)**

MDS (Multidimensional Scaling) é uma técnica estatística utilizada para analisar e visualizar dados de alta dimensão. Ela permite representar os dados em um espaço de menor dimensão, geralmente em duas ou três dimensões, preservando as relações de proximidade entre as amostras originais (Cox, 2000).

Enquanto que Rocha (2015), define MDS como a técnica clássica usada para representar o relevo da superfície da terra é desenhar linhas de contorno de topografia ou fotogrametria. Com o desenvolvimento da computação digital, novas tecnologias surgiram para automatizar o processo, que envolve a descrição matemática do terreno por meio de funções de interpolação chamadas de modelos digitais de superfícies (MDS).

As vantagens trazidas pelo surgimento de programas de fotogrametria digital e estações de fotografia digital podem concentrar todas as rotinas em um computador, economizando espaço e ganhando agilidade e tempo de trabalho associados a equipamentos de fotogrametria óptico-mecânica (Rocha, 2015).

### 2.3.4 Modelo Digital de Elevação (MDE)

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE) podem ser definidos como modelos contínuos representativos da variação de altitude na superfície da terrestre. O MDE representa de forma quantitativa a variação contínua do relevo na paisagem (Moore et al, 2013).

Segundo Hutchinson e Gallant (2010), um modelo digital de elevação pode ser constituído de fontes de dados distintas: digitalizar as curvas de nível, cotar pontos ou laser scanner. Os pontos são cotados através da superfície do terreno, incluindo pontos altos e baixos. Esses dados podem ser obtidos através de levantamentos topográficos convencionais, feitos manualmente através de modelos fotogramétricos e através de imagens obtidas por satélite.

O principal componente do MDT é um MDS e uma subclasse do mesmo (Li et al., 2005). No entanto, o MDS é mais utilizável a modelos hidrológicos, uma vez que atributos hídricos podem ser decorrentes da altimetria.

## 2.4 Fotogrametria

A fotogrametria fundamenta o estudo e o significado da forma, das proporções e localização de objetos no espaço, respaldando em medições adquiridas com suporte em fotografias ou imagens digitais (Silva, 2015).

A aplicação da fotogrametria como procedência de dados topográficos planimétricos e altimétricos com competência mundial, acompanhou seu prelúdio em meados dos anos 1950 (Blaschke, 2010).

A Fotogrametria apresenta vantagens associadas às elucidações referentes ao alcance da fotointerpretação, que é de suma relevância nas etapas iniciais dos estudos e esboços no que se refere às possibilidades de modulações, além do anseio de um projeto mais hábil em locais nos quais o terreno é extenso, inatingível e crítico. Por outro lado, como desvantagem, apresenta como característica conferida a menor exatidão em detrimento dos levantamentos topográficos e a indispensabilidade de situações ambientais climáticas favoráveis. Também pode ser entendido como a “ciência e tecnologia de obter informações confiáveis através de processos guarda de informações, interpretação e mensuração de imagens” (Andrade, 2011).

De acordo com Consoante Rocha (2010), a fotogrametria pode ser dividida em três áreas:

- **Fotogrametria métrica:** envolve medidas precisas e computacionais para determinar a forma e as medidas dos objetos, sendo aplicada na elaboração de plantas planimétricas e topográficas;
- **Fotogrametria interpretativa:** ocupa-se do reconhecimento e identificação dos objetos;

- **Fotogrametria terrestre:** consiste na atividade de captação de dados gráficos por meio da fotogrametria utilizando como sensor uma câmera métrica terrestre.

Os aspectos principais que apresentam vantagens da fotogrametria são relativos à maior quantidade de informações que podem ser obtidas através da fotointerpretação, que é fundamental para as etapas iniciais dos estudos e projetos, mas também quando se faz necessário levantar de maneira rápida uma área de maior extensão ou em regiões perigosas ou de difícil acesso. Como desvantagens são apresentadas a baixa precisão em comparação com a topografia convencional, maior custo, necessidade de situações climáticas adequadas (dia claro, sem ventos fortes etc.) (Rocha, 2010).

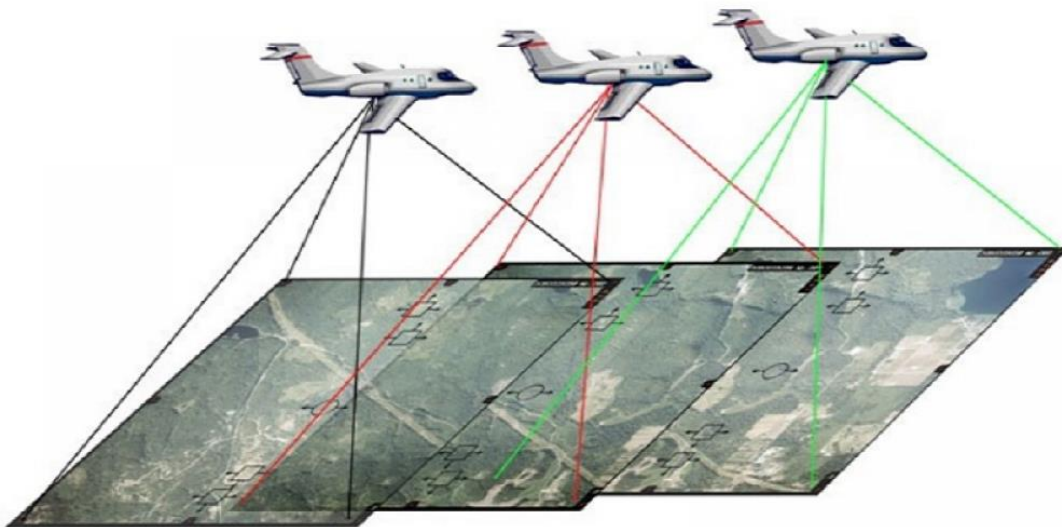


Figura 3: Aerofotogrametria (Droneng, 2020)

Na topografia, ciência mais conhecida das geociências, é necessário ocupar o ponto sobre o qual se deseja coletar informações, ou seja, para determinar as coordenadas de um objeto, é preciso se deslocar até o objeto em questão. Porém na fotogrametria, não se necessita ocupar o objeto alvo (terreno), uma vez que a medição ocorre de forma remota por sensores embarcados em aeronaves. Em outras palavras a área é fotografada pela aeronave e após o levantamento, centenas ou milhares de fotos são capturadas, dependendo da dimensão da área de interesse. Após um pós-processamento, essas imagens são ortorretificadas e feitas o mosaico (Figura 2), tornando-se uma única fotografia georreferenciada (com coordenadas conhecidas) que abrange toda a área de interesse (Droneng, 2020).



Figura 4: Mosaico de Imagens (Droneng, 2020)

## 2.5 Conceitos técnicos

Neste Subcapítulo serão apresentados os conceitos técnicos relacionados ao processamento dos dados e a metodologia que será implementada no trabalho.

### 2.5.1 Pixel

Pixel vem do termo inglês "*picture element*", que representa a menor unidade de uma imagem digital, que define sua resolução. Nos pixels são armazenados os valores que formam a imagem, ou seja, cada pixel contém o valor ponderado de toda a energia refletida correspondente à sua área no solo estabelecida a partir da distância de amostragem do solo (GSD). Quanto menor o GSD, maior a resolução da imagem, ou seja, melhor a definição do objeto. Para identificar os pixels na imagem, amplie até que se tornem óbvios (Moore et al, 2013).

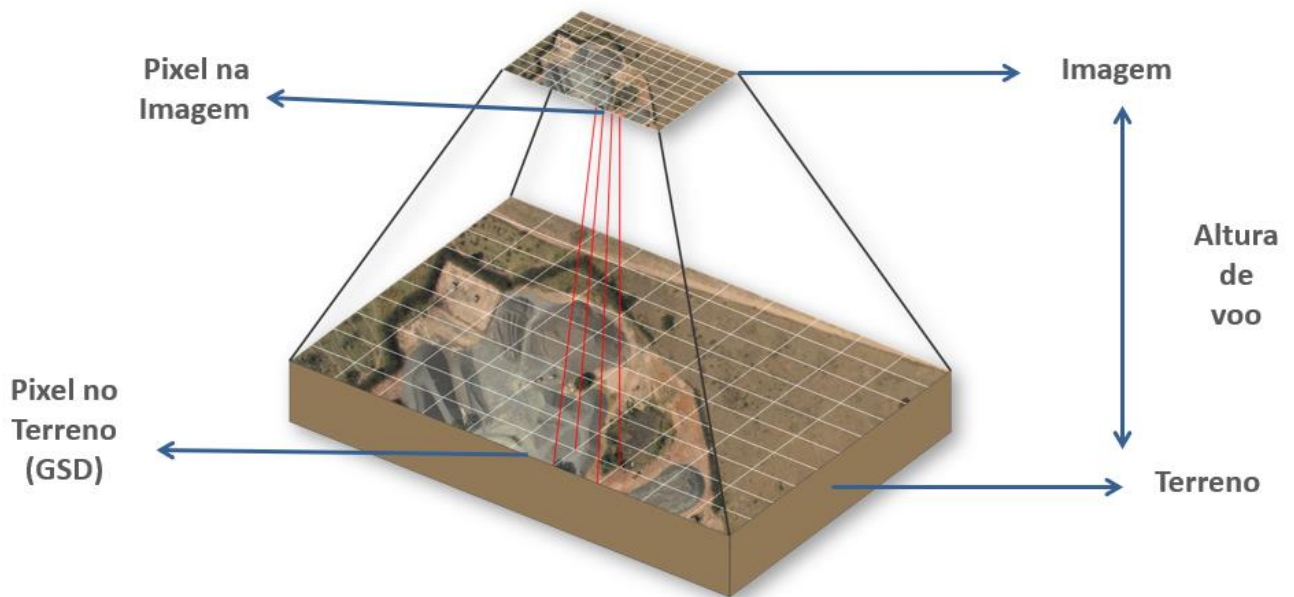


Figura 5: Pixel em fotogrametria<sup>3</sup>

### 2.5.2 Ground Sample Distance (GSD)

Representa o pixel das imagens em unidades de terreno (geralmente em centímetros). De modo geral, indica o nível de detalhamento do mapeamento, portanto quanto menor o GSD, maior o nível de detalhamento (definição do objeto). Conforme o tamanho do GSD aumenta, os detalhes (definição) dos objetos contidos na imagem serão perdidos. Por exemplo, com um GSD de 10 cm, qualquer objeto menor que esse objeto não será exibido na imagem (Rocha, 2010).

### 2.5.3 Sistema de Coordenadas

Assim como existem sistemas de coordenadas (geografia ou UTM) no campo, as imagens também possuem sistemas de coordenadas. O desenvolvimento de um projeto de mapeamento aéreo consiste em correlacionar esses dois sistemas. O sistema de coordenadas de uma imagem é bidimensional (X, Y), organizado de forma matricial. Sua origem é no canto superior esquerdo da imagem, sendo os eixos X e Y representados por colunas e linhas, respectivamente. O pixel localizado no canto superior esquerdo possui tais coordenadas. A partir da origem do sistema, é possível identificar qualquer pixel na imagem a partir das suas coordenadas. Assim, quando se diz que uma imagem é georreferenciada,

<sup>3</sup> <https://blog.Droneng.com.br/planeamento-de-voo-tudo-que-voce-precisa-saber/> (Acessado 10.02.2023)

significa que cada pixel possui uma coordenada no terreno, que pode ser geográfica ou UTM (Moore et al, 2013).

#### **2.5.4 Sistema de coordenadas do terreno**

O sistema de coordenadas do terreno é o sistema geodésico de referência, que nada mais é do que o modelo matemático que descreve a forma da terra, permitindo que a posição de qualquer objeto no planeta seja referenciada através das coordenadas básicas, X, Y e Z. Um de seus componentes é o datum, um ponto de origem do sistema para a referência das coordenadas, o qual tanto pode ser topocêntrico, sendo sua origem local, quanto geocêntrico, com origem global (França, 2018).

### **2.6 Topografia**

A palavra Topografia deriva das palavras gregas "topos" (lugar) e "graphen" (descrever), o que significa a descrição exata e minuciosa de um lugar. É o centro de qualquer projeto e de qualquer obra realizada. A topografia é determinada historicamente como a matéria que exprime, de forma meticulosa, o terreno localmente, isto é, em uma certa imediação da superfície terrestre (Casaca & Matos, 2007).

A topografia também explora os mecanismos para designar as posições de determinados pontos no alcance da superfície terrestre e abaixo por intermédio das projeções de espaço sobre distância, direção e elevação (França, 2018).

#### **2.6.1 Levantamento Planialtimétrico**

Desta forma, as coordenadas horizontais (X, Y) e vertical (Z) do terreno podem ser obtidas de uma só vez, ou seja, quando as medidas do plano e da altura forem exibidas ao mesmo tempo, a área convexa será representada em três dimensões (Veiga et al., 2012).

Os levantamentos planialtimétricos são essenciais para visualizar recursos topográficos, como a superfície do relevo e acidentes geográficos (mostrando superfícies íngremes e planas). Esses recursos básicos são utilizados nos planeamentos dos mapeamentos das superfícies (Borges, 2002).

A composição de mapas planialtimétricos aplicadas à agricultura e áreas urbanas, constroem elementos básicos das feições do relevo, podendo destacar o planeamento das atividades, uso do solo e sua capacidade de aproveitamento, práticas protecionistas e medidas preventivas cuidadosamente elaboradas (Stein, 1999).



## 2.7 RTK (*Real Time Kinematic*)

RTK (*Real Time Kinematic*) é um sistema que pode corrigir imediatamente os resultados da observação. As informações são processadas ao mesmo tempo que os dados são coletados. Esta é uma operação em "tempo real" e os dados podem ser obtidos mais rapidamente. Observou-se a precisão do potencial do sistema RTK na medição de altura para a medição de contornos (Melo et al., 2011).

O RTK é um recurso de levantamento respaldado na localização relativa da portadora, com exatidão de poucos centímetros e precisão de duração simultânea. Para um levantamento RTK padronizado, é essencial ter-se um receptor configurado em uma estação com coordenadas conceituadas, intitulado de estação de apreciação ou base RTK, um receptor móvel (rover), e um rádio de interlocução para encaminhamento de informações da estação de estima RTK ao receptor móvel. Uma característica que pode vir a restringir a atuação na localidade de alcance do RTK é a abrangência da propagação das ondas de rádio, visto que a mesma pode encontrar 29 barreiras entre o abarcamento e o receptor móvel e, desta forma, a retidão previsível não será captada (Costa, 2008).

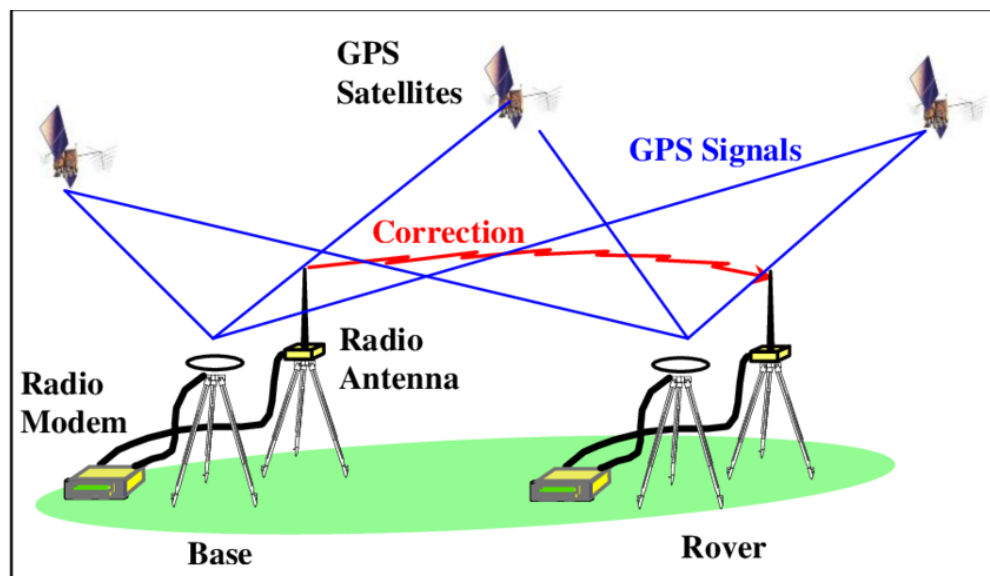


Figura 6: Sistema RTK<sup>4</sup>

## 2.8 Pontos De Apoio

Os pontos de apoio são pontos fotográficos detectáveis, ou seja, são instrumentos, alvos, particularidades do terreno, e irão aparecer na imagem aérea, usados para estabelecer a relação comum entre o sistema de coordenadas das imagens e o sistema de coordenadas do terreno. Essencialmente,

<sup>4</sup>Fonte: <https://www.agsgis.com/assets/images/Blog/RTK-Network-small%20copy.jpg>. (Acessado 10.02.2023)

são pontos de referência no solo que é utilizado para o processamento de imagens, melhorando a qualidade dos produtos gerados (Moore et al, 2013).

## 2.9 Alvos Naturais

A utilização do levantamento topográfico por meio da aerofotogrametria é muito costumeira em projetos de mapeamento aéreo em áreas urbanas, porque é exigido nos mesmos um nível de detalhe do terreno muito alto, portanto estes detalhes também podem ser exibidos como imagens nos pontos de controle.

Por exemplo, usando faixas de pedestres, ou o meio fio de uma esquina como pontos de intersecção visível para aumentar a velocidade de execução do projeto, coleta de pontos de controle pode ser iniciada antes do voo ou após o término do voo, sendo que esses alvos naturais não serão retirados do solo, conforme demonstrado na Figura 3 (Whorth et al, 2013).



Figura 7: Alvo Natural (Droneng, 2021)

## 2.10 Alvos Artificiais

Nas áreas rurais, esses terrenos costumam ser mais uniformes, sem detalhes que possam ser usados como alvos específicos como é o caso dos alvos naturais. Neste caso, alvos artificiais serão implantados no terreno, conforme demonstra a Figura 6. Este tipo de levantamento é chamado de voo pré-sinalizado, onde geralmente o alvo é distribuído por todo o terreno, e os pontos de controle são coletados imediatamente após o término do voo. Não há nada que impeça de serem recolhidos antes do término do voo, mas é de suma importância ter certeza de que estarão no mesmo local durante o aerolevanteamento (Moore et al, 2013).



Figura 8: Alvo Natural

### 2.11 Orientação Interna

Segundo James S. Bethel (2017), A orientação interna se refere às propriedades da câmera que afetam a geometria da imagem, como a distância focal, a posição do ponto principal, a escala da imagem e a distorção da lente. A orientação externa é o processo de determinar a posição e orientação da câmara em relação à cena fotografada.

Enquanto que Wolf et al, (2014) Definem orientação interna como parâmetros da câmera que descrevem a projeção da imagem, como a distância focal, a distorção da lente e a posição do centro óptico. A orientação externa é o processo de determinar a posição e orientação da câmera em relação ao objeto fotografado.

A orientação interna permite a reconstrução do feixe perspectivo que gerou as perspectivas, ou seja, as fotografias, ou seja, é a recuperação da posição da fotografia em relação à câmera. Nos aparelhos analógicos esta orientação é feita forçando a coincidência das marcas fiduciais da câmera com as correspondentes marcas no restituidor e ajustando a distância principal do restituidor para coincidir com a câmera fotogramétrica. E por este motivo que os instrumentos analógicos só aceitam um valor de distância focal, permitindo apenas uma pequena variação (Hartley, 2013).

### 2.12 Orientação Externa

Luhmann et al. (2014) definem a orientação externa como “a determinação da posição e orientação da câmera no espaço, em relação a um sistema de coordenadas de referência, a partir de informações obtidas nas imagens fotográficas”.

Enquanto que McGlone (2018), define a orientação externa como “o processo de determinar a posição e orientação relativas da câmera e do objeto fotografado em um sistema de coordenadas espaciais”.

Esta operação permite a recuperação da posição e atitude de cada aerofoto segundo um referencial terrestre – em geral aquele em que se pretende realizar o trabalho fotogramétrico. Uma aerofoto pode ser orientada externamente quando se conhecem as coordenadas XO, YO e ZO do ponto de onde foi tomada (centro de perspectiva), bem como os ângulos que definem a sua atitude, como, por exemplo, os ângulos de Euler:  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\chi$ . Estes ângulos representam rotações que se aplicadas ao sistema terrestre fazem-no coincidir com o fotogramétrico (Mikhail, 2013).

São doze os parâmetros para a determinação da orientação externa de um par de aerofotos. Os parâmetros são calculados na aerotriangulação de um bloco de aerofotos, ou em cada foto isolada quando são conhecidas as coordenadas de três ou mais pontos. Nos instrumentos analógicos a orientação externa é feita em duas etapas: orientação relativa e a orientação absoluta, pois, em geral não existem dispositivos de leitura de coordenadas e de ângulos (Mikhail, 2013).

### Área de Estudo

A área de estudo encontra-se localizada no bairro da Costa do Sol, Distrito Municipal KaMavota, na cidade de Maputo. O bairro da Costa do Sol tem uma população total estimada em cerca de 16.828, sendo 8.336 homens e 8.492 mulheres. A densidade populacional é de 718 hab/km<sup>2</sup>. Existe uma crescente presença de população estrangeira e “classe média alta” moçambicana vivendo no bairro da Costa do Sol, sendo que, a estrutura demográfica concentra-se mais num misto entre jovens e adultos na faixa etária entre 15-65 anos de idade (Rodrigues 2015).

A área de estudo é limitada a Norte 32° 38' 38,7" E de Longitude e latitude de 25° 50' 38,7 S a Sul pelo meridiano 32° 37' 39,6" E e Paralelo 25° 55' 54,3 a Oeste pelo meridiano 32° 37' 6,54" E de longitude e 25° 55' 28,7 de latitude a Este pelo 32° 41' 34,43" E de longitude e 25° 50' 40,87 como mostra o esboço abaixo.

O bairro da Costa do Sol caracteriza-se pela concentração das principais actividades económicas da Cidade de Maputo e pelo facto de ser mais evidente os sinais de planeamento urbano e existência de serviços de saneamento. Neste bairro encontra-se empresas de construção civil, supermercados, restaurantes e edifícios habitacionais de diferentes tipologias, dentre os convencionais construídos com bloco, cimento, chapas de zinco, madeira e prédios. Em termos de infra-estruturas económicas, sociais e religiosas é possível encontrar neste bairro hotéis, mercado de venda do peixe, um na Avenida Marginal e o outro na zona dos pescadores, um centro de saúde e clínicas privadas, igreja católica e pentecostais e uma mesquita.

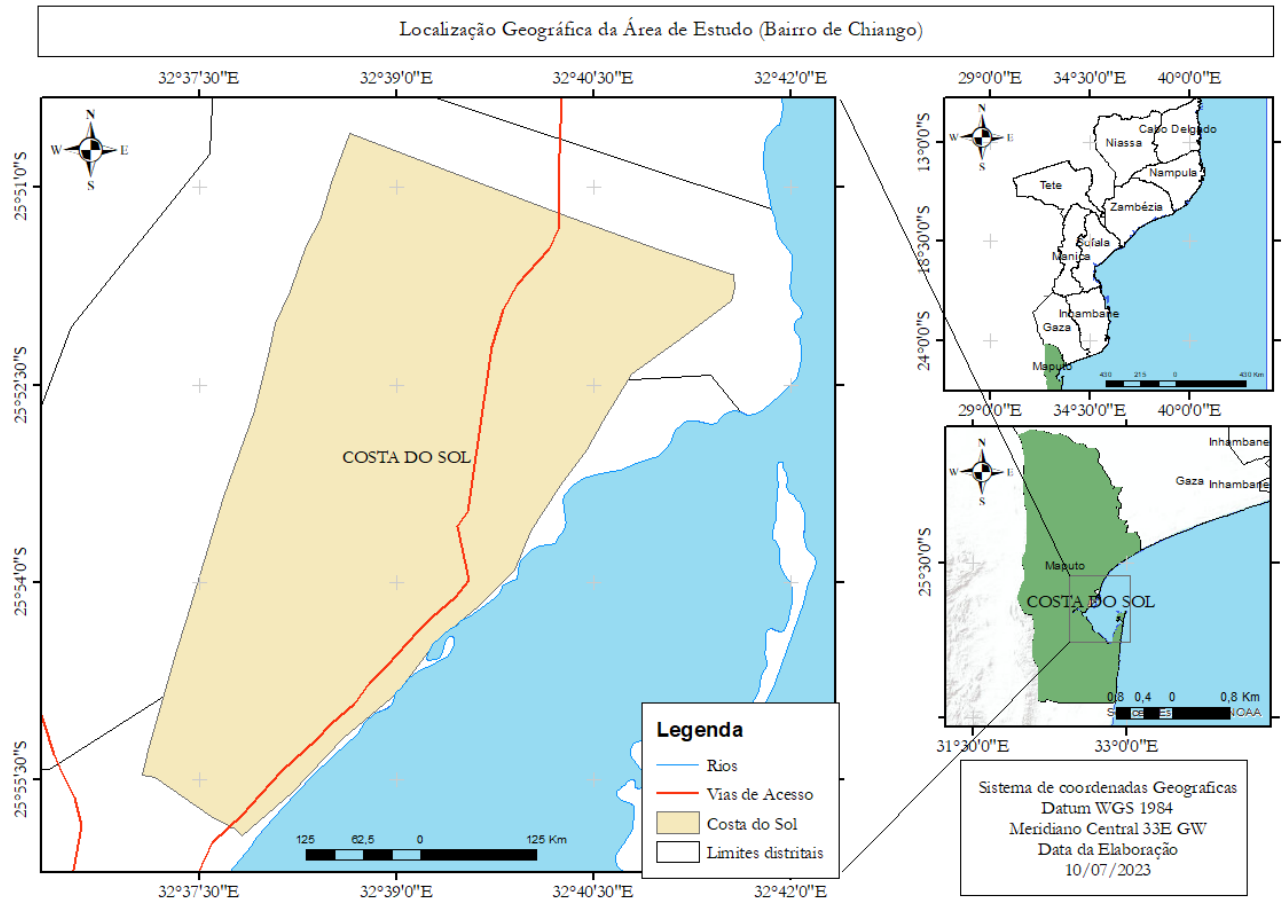


Figura 9: Localização da área de estudo

**Materiais e Métodos**

Este capítulo tem como objectivo apresentar o material e a metodologia que foi empregue na realização deste trabalho e são descritas as etapas para a realização desde actividades em campo até gabinete incluindo a função de cada equipamento e *software* que foi utilizado para alcançar o objectivo propostos.

**4.1 Materiais**

A tabela 1 apresenta-se a descrição dos dados usados no trabalho indicando a designação, modelo, formato, fonte de aquisição e o respectivo ano.

Tabela 1: Descrição dos dados usados

<b>DADOS</b>	<b>MODELO</b>	<b>FORMATO</b>	<b>FONTE E ANO</b>
DIVISÃO ADMINISTRATIVA	Vectorial	Shapefile (.shp)	CENACARTA, 2015
HIDROGRAFIA	Vectorial	Shapefile (.shp)	CENACARTA, 2017
VIAS DE COMUNICAÇÃO	Vectorial	Shapefile (.shp)	CENACARTA, 2017
IMAGENS DE VANT'S	Matricial	Geotif (.tif)	GeoSurvey Moçambique Ltda, 2017

Segue abaixo a tabela 2 com a descrição das plataformas computacionais usadas no trabalho.

Tabela 2: Descrição das Plataformas computacionais usadas.

<b>PLATAFORMAS COMPUTACIONAIS</b>	<b>UTILIDADE</b>
MICROSOFT WORD 2016	Elaboração do relatório
MICROSOFT VISIO 2016	Elaboração do Fluxograma metodológico
PIX4D <i>MAPPER ENTERPRISE</i>	Processamento das Imagens
QGIS 3.24 DESKTOP	Elaboração dos mapas

### 4.1.1 Software Pix4d Mapper

O PIX4D é um programa de processamento de imagens que utiliza fotos capturadas por drones para gerar mapas precisos, como modelos digitais de elevação do terreno e modelos em 3D com texturas. O mesmo permite que as informações obtidas sejam analisadas e facilitam o processo de tomada de decisão de forma mais eficiente. Para o trabalho prático, utilizou-se o PIX4D para processar as imagens capturadas pelo drone e obter os DTM, DSM, a Ortofoto e as curvas de Nível.

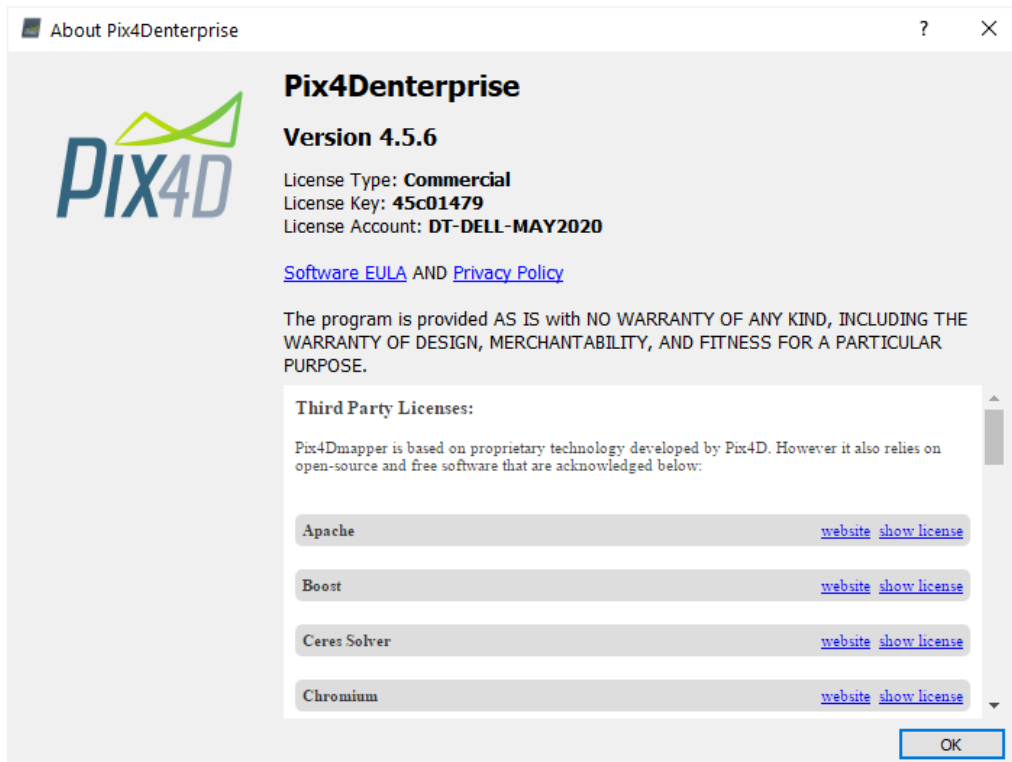


Figura 10: Licença do Software Pix4d Mapper Enterprise 2023



#### 4.1.2 Drone



Figura 11: DJI Phantom 4 pro (DJI, 2020)

O Phantom 4 Pro apresenta uma câmara integrada de alta qualidade, capaz de gravar vídeos em 4K a 60fps e capturar fotos de 20 megapixéis. Além disso, possui um sensor CMOS de 1 polegada e um obturador mecânico, o que permite capturar imagens mais nítidas e reduzir o efeito de "*rolling shutter*" que pode ocorrer em objetos em movimento.

O drone é controlado através de um controle remoto com alcance de até 7 km, utilizando tecnologia de transmissão de vídeo *Lightbridge*, que permite uma transmissão de vídeo ao vivo em HD (High Definition) para o piloto em tempo real. O controle remoto possui uma tela de 5,5 polegadas integrada que exibe imagens em tempo real da câmara do drone.

#### 4.2 Metodologia do Trabalho

A metodologia apresentada neste trabalho foi proposta por Veiga (2012), que segue um modelo conceptual representado em forma de fluxograma (Esquema 1), onde são descritas todas as etapas realizadas. O trabalho é apresentado em quatro fases interligadas a saber:

### **4.2.1 Revisão da Literatura**

A revisão da literatura é uma fase crucial em qualquer trabalho científico e, no caso do tema “Mapeamento Planialtimétrico a partir de técnicas Fotogramétricas Digitais aplicadas a imagem colhida por Drones”, é fundamental para identificar as principais abordagens, desafios e avanços na área.

Na primeira fase do trabalho foi realizada uma pesquisa de literatura em relação ao tema de trabalho. A revisão da literatura consistiu em aspectos relacionados aos métodos de obtenção de informação geográfica, com maior ênfase para os veículos aéreos não tripulados, que constitui a base de investigação deste trabalho. A integração de técnicas de Detecção Remota e os Sistemas de Informação Geográfica constituiu base de revisão da literatura para este trabalho.

### **4.2.3 Plano de Voo**

A etapa de planeamento do voo consistiu na delimitação da área de interesse e a distribuição dos pontos a serem coletados em campo, utilizando o *Google Earth Pro*. Para esta distribuição foi levado em consideração as variações de altitude do terreno, a sobreposição entre os voos. Esta etapa consistiu ainda em distribuir os pontos de controle e pontos de verificação, que por sua vez são definidos como pontos identificáveis inseridos ao longo da área de interesse que serão identificáveis nas fotografias aéreas. Com recurso ao receptor GNSS RTK foram coletados os pontos de controle antes do voo e usados para relacionar o sistema de coordenadas do solo com o sistema de coordenadas das imagens, com o objetivo de aumentar a qualidade dos produtos no processamento das imagens obtidas.

Nesta mesma etapa também ocorre o planeamento do voo, que foi realizado no aplicativo DroneDeploy disponível para sistemas Android e IOS, a 70 metros de altura e com 80% de sobreposição lateral e 30 % de longitudinal. Este aplicativo possibilitou planear o voo, tendo em vista os seguintes parâmetros: velocidade: 3m/s, altitude do voo: 120 m, tempo de voo: 45 min, captura das fotos: 2-3 segundos, sobreposição das imagens: 80% de sobreposição lateral e 30% de sobreposição frontal. Conforme demonstra a Figura 12.

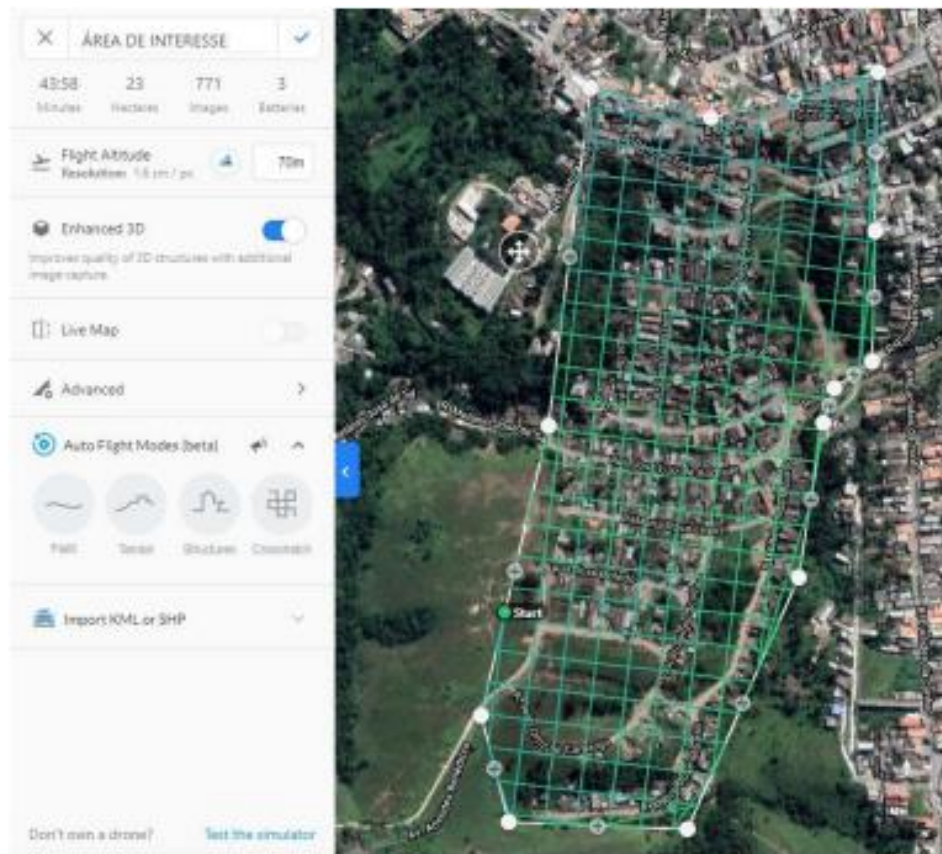


Figura 12: Foto meramente ilustrativa do software Dronedeploy (Dronedeploy, 2021)

### 4.3 Marcação de Pontos de Controle e Levantamento GNSS

Em um levantamento topográfico com o uso de drone é necessário a coleta de pontos de apoio, sendo eles os pontos de controle e de verificação. Esses pontos de apoio são utilizados como referência em solo para o processamento das imagens aéreas (Kumar, 2012).

Os pontos de controle são geralmente coletados através de um levantamento estático com o um receptor GNSS, nesse tipo de levantamento são utilizados dois receptores um é nomeado Base, localizado em um ponto já conhecido, e o outro é chamado de Rover que é posicionado no ponto a ser levantado, o levantamento é realizado pela comunicação entre os dois receptores, e deles com os satélites, determinando as com precisão a localização do ponto levantado. Os pontos de verificação são coletados de forma semelhante aos pontos de controle. A sua função é garantir qualidade posicional dos produtos cartográficos gerados. Para atestar a qualidade dos produtos gerados através do mapeamento aéreo é preciso utilizar os pontos de verificação em solo (Kumar, 2012).

A verificação é feita através da coleta de um ponto no terreno utilizando um receptor geodésico. Após a coleta, no processamento, é preciso identificar este ponto na imagem, assim os pontos de verificação ajudam a calcular a discrepância entre estes dois pontos (terreno e imagem). Essa discrepância é

conhecida como Erro Médio Quadrático (RMS), responsável pela qualidade posicional dos seus produtos.

Para o presente trabalho o levantamento topográfico foi realizado com um receptor GNSS RTK, especificamente o modelo I80 da marca CHC, conforme demonstrado na Figura 9. O mesmo foi usado para identificação dos pontos alvos artificiais. Além da base, utilizou-se apenas um rover, e, portanto, um operador, que seguiu o procedimento de coletar um ponto a cada vinte metros, em média, totalizando 12 pontos de controle e 5 pontos de verificação.



Figura 13: GPS RTK Modelo 180 CHC (CPE, 2021)

Este receptor GNSS é capaz de rastrear os sinais dos satélites de constelações GPS, GLONASS e Beidou, fornecendo uma cobertura global de satélites. Possui uma precisão de posicionamento de até 1 cm e uma precisão de altitude de até 2 cm.

Após a execução do planeamento inicial e a colecta dos pontos, foi realizado o levantamento fotogramétrico onde utilizamos um drone da marca DJI, modelo Phantom 4 Pro, conforme demonstrado na Figura 11.

#### 4.3.2 Aquisição das Fotografias

Nesta etapa do projeto, foram selecionados os locais de estudo e as áreas de interesse, levando em consideração as características geográficas e topográficas da região. Em seguida, foi realizado um levantamento para a captura das imagens. Foram utilizados drones equipados com câmaras de alta resolução capazes de capturar imagens em diferentes espectros, como RGB (vermelho, verde e azul) e

infravermelho, para possibilitar a criação de modelos digitais de elevação (MDE) e ortofotos. Para garantir a qualidade das imagens, foram realizados testes de calibração e ajustes nos parâmetros dos drones e das câmaras antes de cada voo.

Foram levantadas 358 fotos de uma área de 18,38ha, o Drone utilizado for DJI Phantom 4 Pro acoplado ao sensor CMOS de 1 polegada numa altura de voo média de 120m. O sistema de coordenadas utilizado foi UTM Zona 36S.

Durante a fase de calibração de um drone, o objetivo é ajustar suas configurações para garantir um desempenho preciso e estável. Inicialmente, são verificados os parâmetros e sensores do drone. Em seguida, é escolhida uma área nivelada e sem interferências para realizar a calibração. Após ligar o drone, o operador segue as instruções fornecidas no aplicativo ou controlador para executar os procedimentos de calibração. Este processo pode envolver movimentar o drone de acordo com padrões específicos, permitindo que ele compreenda sua orientação e estabilidade. Ao concluir a calibração, o drone estará pronto para voar de maneira precisa e equilibrada, contribuindo para uma operação eficiente e confiável.

O drone foi programado para voar em trajetórias predeterminadas e altitudes específicas para a captura das imagens, de acordo com os objetivos do estudo. Foram coletadas 358 fotos da área de interesse, com sobreposição lateral de 30% e longitudinal de 80% e entre elas para garantir a qualidade do modelo 3D e da ortofoto.

#### **4.2.4 Processamento Fotogramétrico**

Na terceira fase do trabalho foi realizado o processamento fotogramétrico das imagens obtidas por veículos aéreos não tripulados, com base nas seguintes etapas: orientação interna, orientação externa, triangulação aérea, geração da ortofoto e o Modelo Digital de Elevação (DEM).

##### **4.2.3.1 Orientação interna**

Na etapa de preenchimento dos parâmetros de Orientação Interna no *software* Pix4D, foram inseridas informações cruciais sobre a câmara utilizada na captura das imagens. Isso incluiu detalhes como o modelo da câmara, a distância focal, as distorções geométricas e a resolução da imagem. A posição do ponto principal da imagem em relação ao canto superior esquerdo também foi fornecida para o alinhamento adequado das imagens. Além disso, os parâmetros, como a distância entre a lente da câmara e o solo, foram especificados. Essas informações foram usadas para corrigir distorções e calcular a posição das imagens no espaço, formando a base para a criação de modelos 3D e ortomosaicos de alta precisão.

Distorção Radial		Distorção Tangencial	
Distorção Radial R1	-0,042563	Distorção Tangencial	0,0011999
Distorção Radial R2	0,0259073	Distorção Tangencial	0,00169852
Distorção Radial R3	-0,00608853		

Tabela 3: Preenchimento dos POI no Pix4d Mapper.

#### 4.2.3.2 Orientação externa

Na etapa de preenchimento dos parâmetros de Orientação Externa no *software* Pix4D, foram fornecidos os parâmetros relacionados à posição e orientação da câmara durante a captura das imagens. Isso envolveu a inserção das coordenadas de GNSS da posição da câmara no momento da captura, bem como os ângulos de rotação em relação aos eixos do espaço tridimensional.

Foi inserido o sistema de coordenadas UTM ZONE 36S utilizado para as medições geoespaciais. Este processo é fundamental para garantir a precisão na colocação das imagens em um contexto geográfico real.

#### 4.2.3.3 Triangulação aérea:

Na etapa de Aerotriangulação no Pix4D, foram inseridos os parâmetros de Orientação exterior para aprimorar a precisão da reconstrução do espaço objecto (3D) a partir das imagens que capturadas o mesmo envolveu a inclusão de pontos de controle. Nesta etapa, foram ainda fornecidas informações sobre os pontos de correspondência entre as imagens, de forma que fosse possível identificar características semelhantes entre diferentes imagens sobrepostas. Com estes parâmetros foi possível calcular a posição e orientação de forma precisa das imagens no espaço tridimensional. Este procedimento permitiu alinhar as imagens corretamente, corrigir distorções e gerar um modelo 3D ou ortomosaico preciso. A figura 14, ilustra o resultado deste procedimento no *software*.

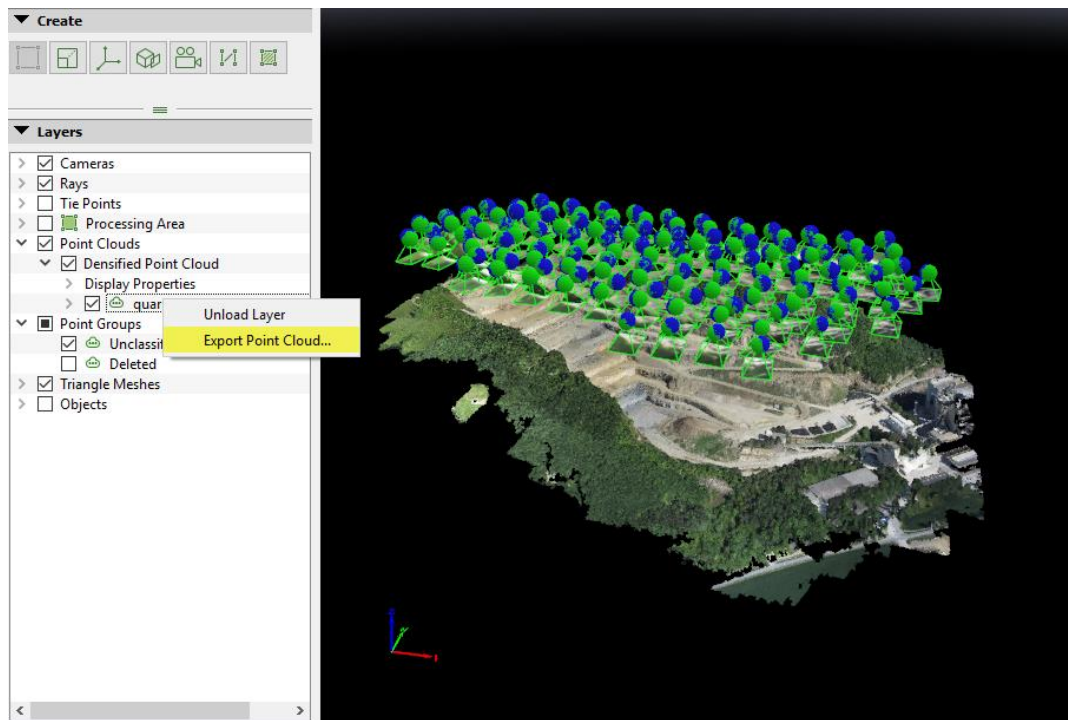


Figura 14: Aerotriangulação visão do Pix4d Mapper.

#### 4.2.3.4 Obtenção do ortofoto e DEM:

Na etapa de obtenção da Ortofoto e do Modelo Digital de Elevação (DEM) no Pix4D, foram utilizados os dados processados das imagens capturadas para criar representações precisas do terreno e da superfície em 3D.

Para a aerotriangulação, o *software* usa as informações de posição e orientação das imagens para corrigir distorções e alinhar as imagens adequadamente. O *software* processa as informações de altura derivadas das imagens para criar um modelo digital que representa as elevações do terreno com detalhes.

Seguidamente foram projetadas as imagens retificadas e corrigidas em um plano bidimensional, removendo as distorções causadas por factores como relevo e inclinação da câmara. O resultado foi uma imagem ortorretificada que representa a área de interesse com precisão geográfica, permitindo medições confiáveis sem as distorções presentes em fotografias normais.

#### 4.2.4 Resumo do Fluxo de Actividades

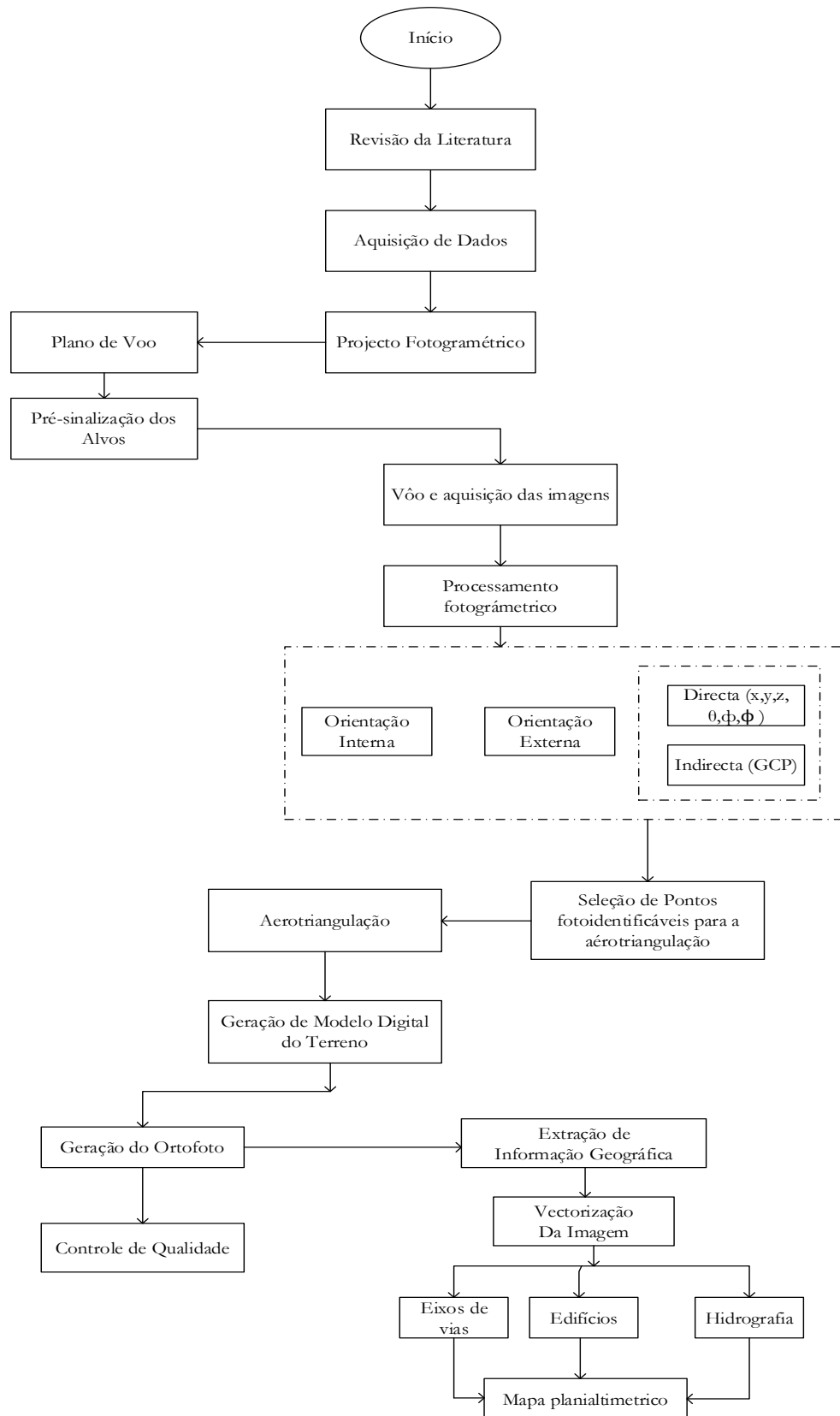
A tabela 3 ilustra de forma resumida o fluxo de actividades que foram realizadas durante a fase de processamento e geração de resultados do trabalho:

Tabela 4: Descrição do Fluxo de Actividades e Resultados esperados.

<b>Fluxo de Actividades</b>	<b>Actividade</b>	<b>Resultado esperado</b>
Fluxo 1	Inserir as fotos no bloco	Fotos carregadas
Fluxo 2	Alinhar fotos	Geração de <i>Tie points</i> nuvem espaçada de pontos
Fluxo 3	Gerar a nuvem densa de pontos da área	Geração de <i>Tie points</i> nuvem densa de pontos
Fluxo 4	Identificar e Classificar os pontos aerofotogramétricos do terreno	Geração de <i>Tie points</i> -pontos do terreno ( <i>ground points</i> )
Fluxo 5	Construir malha esparsa do terreno	Geração de TIN (Rede de Triângulos Irregulares) do modelo ou da Malha
Fluxo 6	Reduzir a malha do terreno	Malha suavizada
Fluxo 7	Geração do MDT	Modelo Digital do Terreno
Fluxo 8	Geração do MDS	Modelo Digital da Superfície
Fluxo 9	Geração de contornos	Curvas de nível na equidistância 1 m
Fluxo 10	Geração do ortomosaico	Mosaico de ortofoto
Fluxo 11	Verificação da Precisão	EMQ (Erro médio quadrático)



#### 4.2.1 Fluxograma metodológico



Esquema 1: Fluxograma metodológico do trabalho.

Este capítulo visa fazer a apresentação dos resultados obtidos durante a execução deste trabalho (Ortomosaico, Modelos Digital de Superfície, Modelo Digital de Elevação, Curvas de Nível da área de estudo e Planta Planialtimétrica da área de estudo), objectiva ainda fazer uma descrição e uma discussão relactivamente aos produtos obtidos.

### **5.1. Ortomosaico**

No capítulo anterior, através da densa nuvem de pontos, foi possível criar um ortomosaico na escala 1:1000. Esse ortomosaico é essencialmente um mosaico de fotos ortorretificadas, que agora pode ser visualizado nos mapas apresentados abaixo. Esse produto é gerado de maneira semiautomática, onde os parâmetros são pré-definidos pelo próprio programa de processamento de imagens, indo dos mais robustos aos menos robustos.

Após isso, foram produzidos o Modelo Digital de Elevação (MDE) com uma resolução espacial de 2,72 cm/pixel, o Modelo Digital da Superfície e as curvas de nível, com intervalos de 2 metros.

O mosaico, resultado da junção e corte das fotografias ortorectificadas, este mosaico somente representa a zona de sobreposição das imagens processadas. O resultado pode ser visto na figura 15.

Após a conclusão do modelo 3D, foi gerado o Modelo Digital de Elevação (MDE), para a obtenção dos produtos: mosaico de ortofotos, Modelo Digital de Superfície (MDS), MDT e as curvas de nível.



Figura 15: Ortomosaico da área de estudo

## 5.2. Modelo Digital de Superfície

Após a coleta das imagens aéreas por drones, o processo de obtenção do Modelo Digital de Superfície (MDS) iniciou-se. Primeiramente, as imagens foram cuidadosamente processadas utilizando software especializado em fotogrametria. Isso incluiu a identificação de pontos de controle e a correção de distorções, garantindo a precisão necessária para o próximo passo.

Com as imagens processadas, foi possível gerar uma nuvem densa de pontos tridimensionais que representam a superfície da área mapeada. Essa nuvem de pontos foi então utilizada para criar o MDS, que oferece uma representação detalhada da topografia do terreno, incluindo elevações, vegetação e estruturas presentes na área.

Durante o processo de criação do MDS, foram aplicadas técnicas para garantir a precisão e a resolução adequadas, levando em consideração os requisitos do projeto. O resultado final é um modelo digital que fornece uma representação tridimensional precisa da superfície da área mapeada, essencial para a produção de mapas planialtimétricos e para diversas aplicações em engenharia, planejamento urbano, agricultura e outros campos relacionados.

Após a geração do Modelo Digital de Superfície (MDS) a partir das imagens coletadas por drones, foi possível analisar os dados obtidos. Durante essa análise, foram identificados os valores de elevação mínima e máxima presente no MDS. O valor mínimo de elevação encontrado foi de -2,44367, indicando a altitude mais baixa registrada na área mapeada. Por outro lado, o valor máximo de elevação identificado foi de 14,6811 como pode ser observado na figura 16, representando a altitude mais alta registrada na mesma área. Esses intervalos de elevação fornecem informações valiosas sobre a variação de terreno e são essenciais para a produção de mapas planialtimétricos precisos e detalhados.

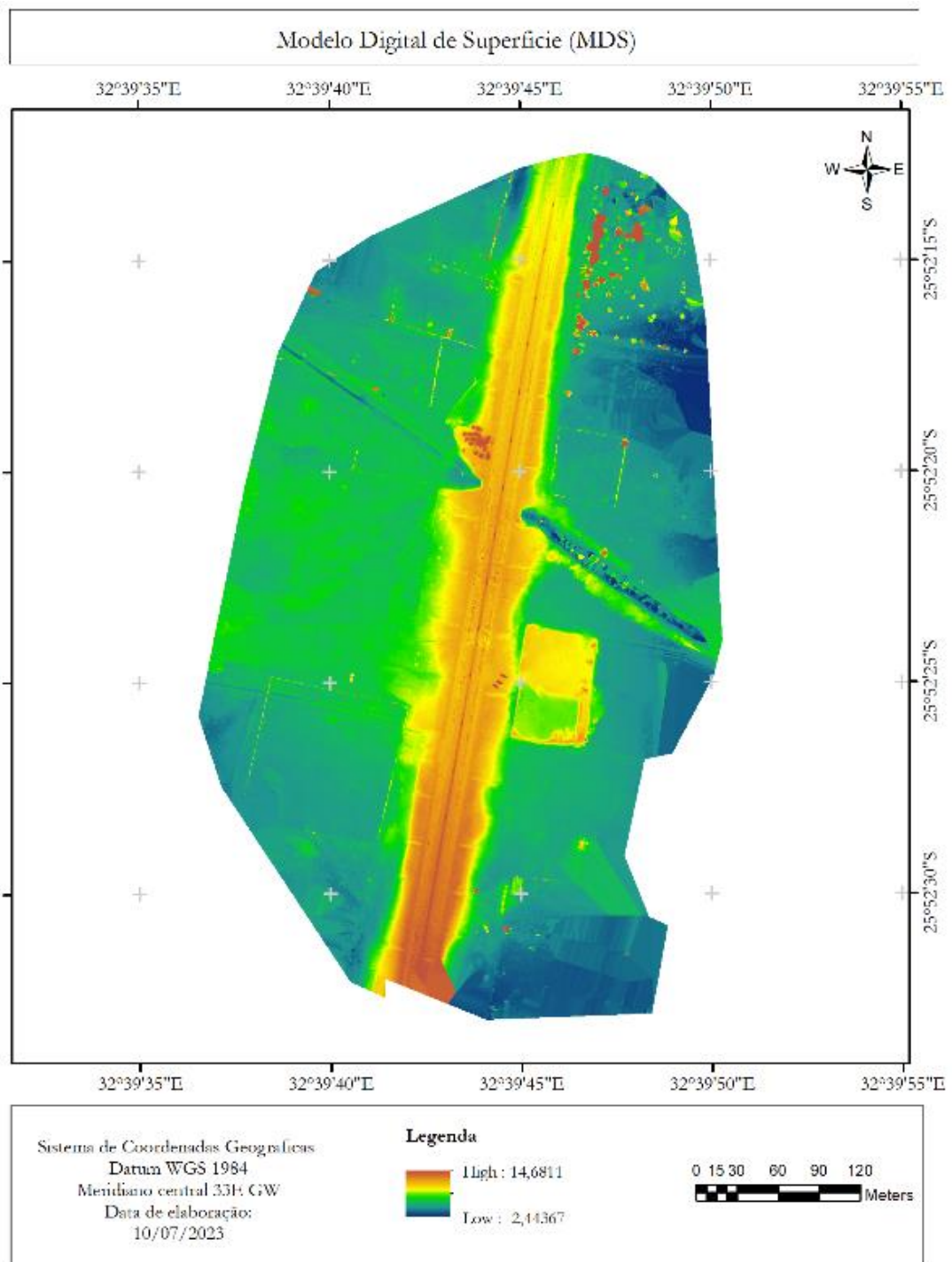


Figura 16: Modelo Digital de Superfície (MDS)

Em seguida, a partir do MDS(Figura 16), foi realizado o processamento adicional para criar o Modelo Digital de Elevação (MDE). Nesse processo, foram removidos os elementos que não fazem parte do terreno, como construções e vegetação, resultando em um modelo que descreve apenas a elevação do terreno em si, sem considerar a altura dos objetos sobre ele.

Assim, o MDE obtido oferece uma representação precisa das variações altimétricas do terreno na área mapeada, sendo útil para a produção de mapas planialtimétricos e diversas outras aplicações, como Planeamento urbano, gestão de recursos naturais e análise de relevo.

Esse modelo passou por processos de validação e refinamento para garantir sua precisão e qualidade, incluindo comparação com dados de elevação existentes e ajustes necessários. Ao final desse processo, obteve-se um MDE detalhado e preciso, pronto para ser utilizado na produção de mapas planialtimétricos e em diversas outras aplicações.

Os intervalos mínimo e máximo no Modelo Digital de Elevação (MDE), de 15,6053 e 28,9131 como pode ser verificado na figura 17, respectivamente, descrevem as variações altimétricas encontradas na área mapeada. O valor mínimo de 15,6053 indica a altitude mais baixa presente no terreno, geralmente associada a áreas de depressão, como vales ou leitos de rios. Por outro lado, o valor máximo de 28,9131 representa a altitude mais alta na área do MDE, que tipicamente corresponde a picos, montanhas ou elevações significativas. Esses intervalos são cruciais para compreender a topografia da região, fornecendo informações valiosas para uma variedade de aplicações, desde planeamento urbano até estudos ambientais.

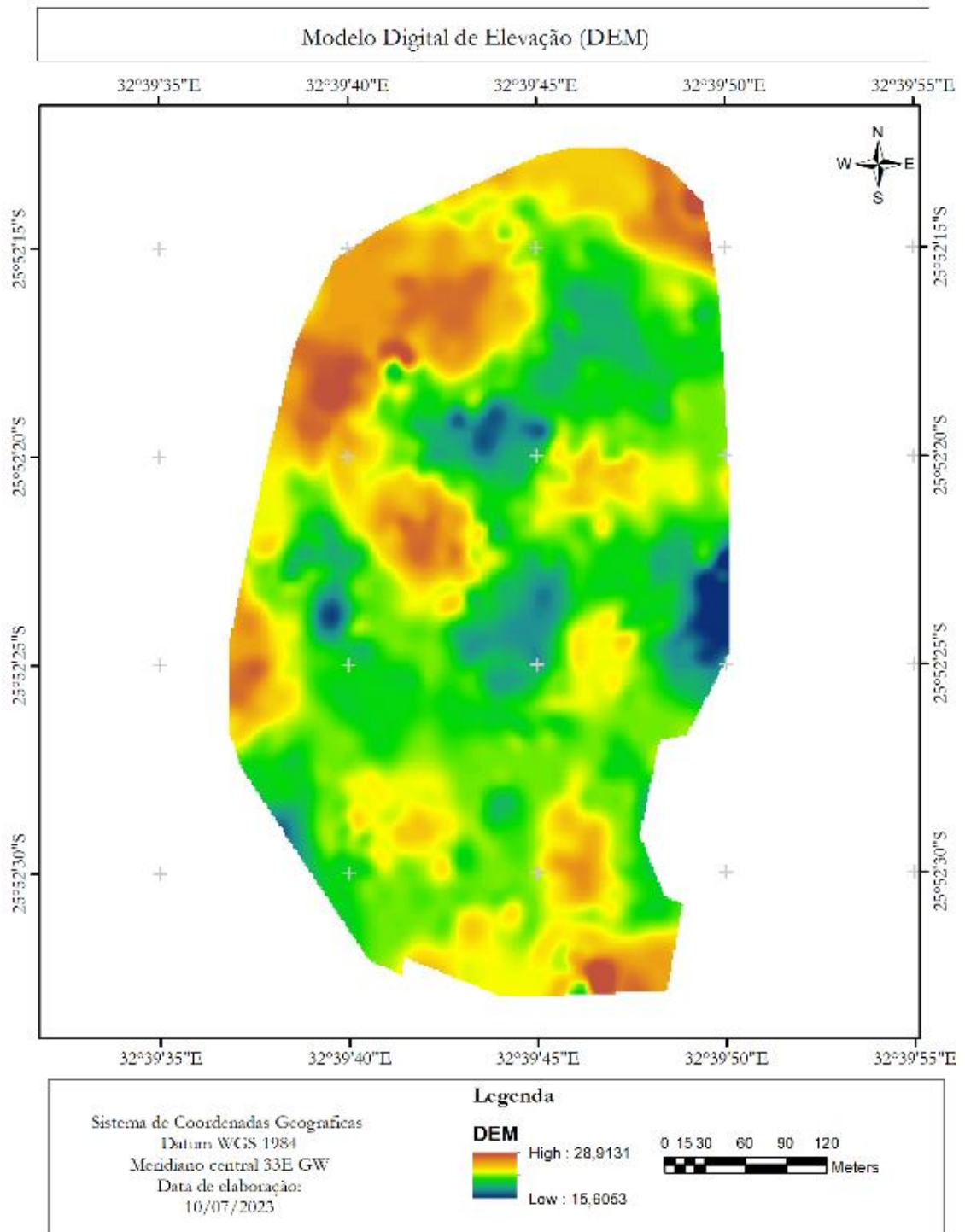


Figura 17: Modelo Digital de Elevação (MDE)

Foram traçadas as linhas de contorno que conectam os pontos do MDE com a mesma altitude com uma equidistância de 1 metro. Esse processo pode ser automatizado pelo software, que interpola os valores de altitude entre os pontos do MDE para gerar as curvas de nível de forma suave e contínua.

Após a criação das curvas de nível, é importante validar e refinar o resultado, garantindo sua precisão e consistência. Isso pode envolver a verificação visual das curvas em relação ao MDE, ajustes manuais onde necessário e a eliminação de erros ou inconsistências.

Finalmente, as curvas de nível foram exportadas no formato vetorial, shp para serem integradas aos mapas planialtimétricos, onde fornecerão informações detalhadas sobre a topografia do terreno, auxiliando na interpretação e análise da área mapeada.

A criação das curvas de nível com base nos intervalos de cota mínima e máxima, juntamente com a equidistância determinada, segue da seguinte forma:

Primeiramente, determina-se a diferença de altitude entre a cota mínima e a cota máxima, que neste caso é de  $26 - 17 = 9$ .

Em seguida, decide-se o intervalo de equidistância das curvas de nível. Neste caso, a equidistância é de 1 m o que significa que haverá uma curva de nível para cada metro de variação de altitude.

Assim, serão geradas 10 curvas de nível, começando da cota mínima de 17 m e indo até a cota máxima de 26 m, com intervalos de 1 metro entre cada curva.

Esse conjunto de curvas de nível fornecerá uma representação detalhada da variação altimétrica do terreno, facilitando a interpretação e análise topográfica da área mapeada.



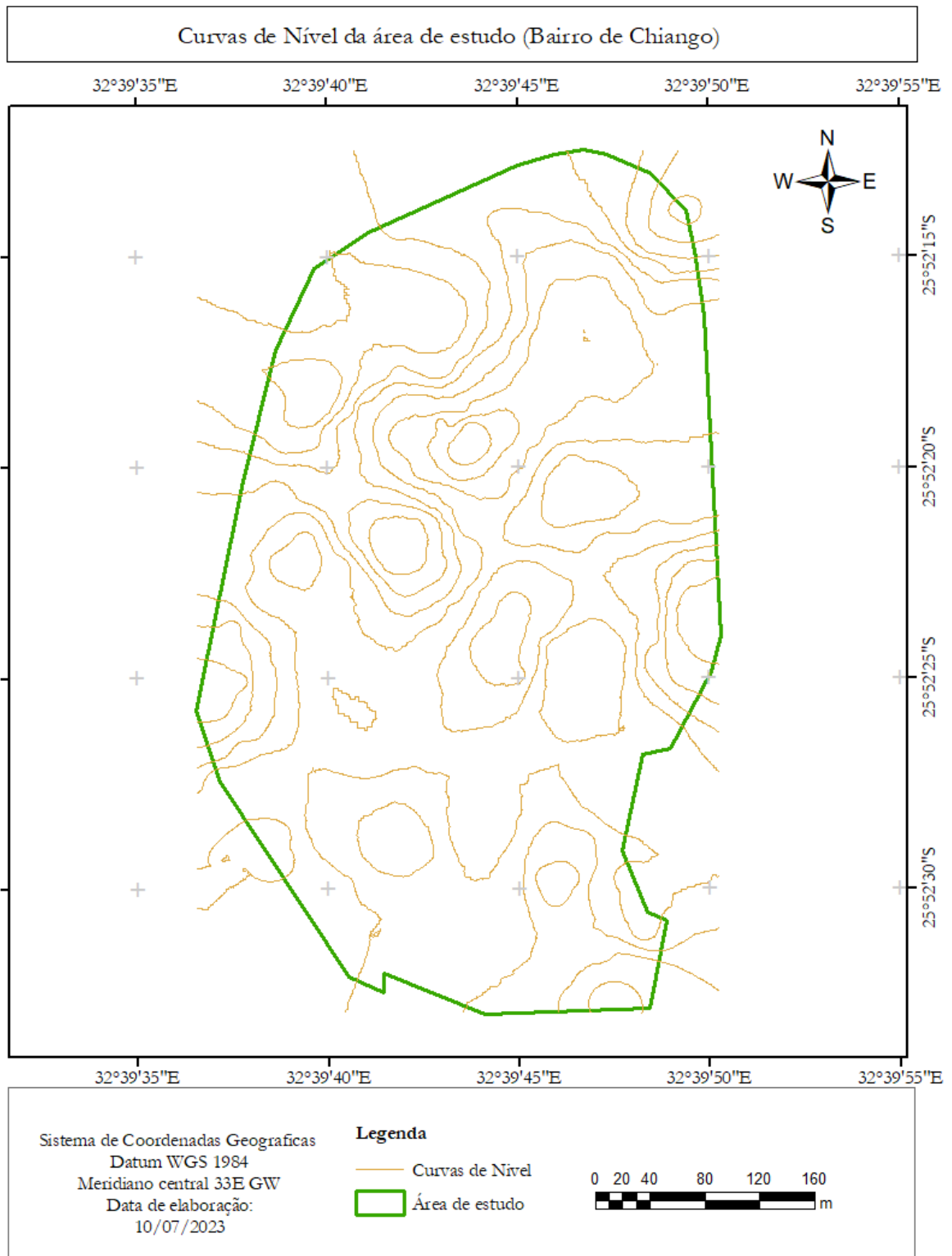


Figura 18: Curvas de Nível

## 5.1 Cálculo do erro Médio Quadrático

Na etapa de avaliação da precisão dos resultados no Pix4D, utilizei o método do Erro Médio Quadrático (RMSE) para medir quão confiáveis são as informações geradas. Isso envolveu a análise das discrepâncias entre os valores calculados pelo *software* e os valores reais conhecidos, tendo em consideração tanto as coordenadas planimétricas quanto altimétricas.

Para a precisão planimétrica, o Erro Médio Quadrático (RMSE) foi de 0,027 m, o que significa que, em média, as coordenadas horizontais dos pontos nos resultados diferiram cerca de 0,027 m das coordenadas reais. Isso demonstra um bom nível de precisão nas medições planimétricas.

No que diz respeito à precisão altimétrica, o erro médio quadrático (RMSE) foi de 0,043 m, o mesmo indica que, em média, as diferenças altimétricas entre os valores calculados e os valores reais foram de aproximadamente 0,043 m. Isso sugere um nível satisfatório de precisão nas medições altimétricas.

Esses resultados indicam a qualidade geral dos produtos gerados pelo *software* Pix4D. O baixo Erro Médio Quadrático nas dimensões planimétrica e altimétrica sugere que os modelos 3D, ortofotos e outros produtos são confiáveis e podem ser usados com precisão em várias aplicações, como análises geoespaciais, Planeamento de projetos e tomada de decisões.

Tabela 5: Valores de média, desvio-padrão e RMS

Ponto	Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)
MC 1	0,012	-0,010	0,014
MC 2	-0,001	0,025	-0,007
MC 3	0,010	-0,030	-0,083
Média	0,007	-0,005	-0,025
Desvio Padrão	0,007	0,028	0,051
Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE)	0,009	0,028	0,057
<b>Erro Padrão (m)</b>	<b>0,027</b> <b>Erro Planimétrico</b>		<b>0,043</b> <b>Erro Altimétrico</b>

## 5.2 Digitalização de informações cartográficas

Na fase de digitalização das informações cartográficas o foco foi transformar dados do mundo real em representações digitais detalhadas e úteis. Nessa etapa, trabalhei com imagens capturadas por drones para extrair informações específicas, como vias de acesso, parcelas de terra e corpos de água.

A primeira tarefa foi transferir as imagens dos drones para um *software* especializado em cartografia. Organizei essas imagens de forma a identificar pontos de referência e garantir a correspondência entre elas.

O processo de digitalização envolveu a identificação e marcação das vias, parcelas e corpos de água diretamente nas imagens. Utilizando ferramentas de edição, tracei contornos ao redor desses elementos, criando representações digitais. Durante esse processo, segui as normas cartográficas, que incluem padrões de simbologia, cores e legenda para garantir a clareza e a consistência no mapa final.

Quando se tratava de normas cartográficas, foram seguidas as normas cartográficas para garantir a precisão e a legibilidade do mapa final. Isso incluiu a escolha de cores apropriadas para diferentes elementos, a padronização de símbolos para vias, parcelas e corpos de água, e a inclusão de uma legenda explicativa para facilitar a interpretação.

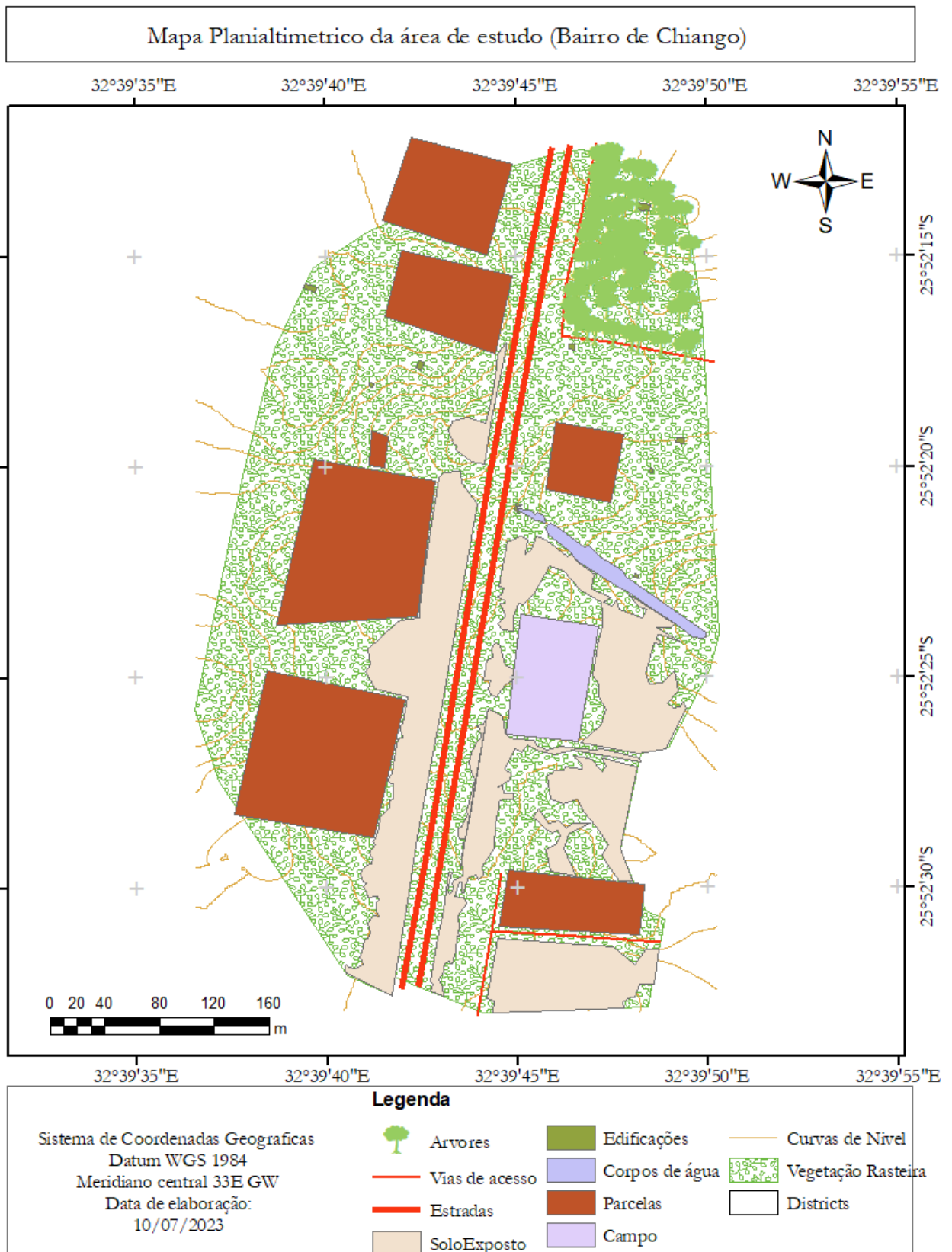


Figura 19: Mapa Planialtimetrico

## 6. Conclusão e Recomendações

No contexto do processamento de dados no Pix4D, considerando os valores dos erros planimétricos e altimétricos mencionados (erro planimétrico de 0,027 e erro altimétrico de 0,043), é possível fazer avaliações importantes e fornecer diretrizes para o uso e a atualização cartográfica.

Com base nos baixos valores de erro médio quadrático para ambos os aspectos planimétrico e altimétrico, podemos inferir que os resultados gerados pelo *software* Pix4D possuem uma alta precisão. Essa precisão é fundamental para garantir a confiabilidade das análises e das decisões tomadas com base nesses produtos, sejam eles modelos 3D, ortofotos ou outros produtos geoespaciais.

Os levantamentos planialtimétricos com o uso de drones possuem vantagens e desvantagens em relação aos levantamentos tradicionais (estação total). Os drones por serem autônomos e não tripulados podem ser usados em regiões de risco, e necessitam apenas de um piloto regulamentado. Assim, o levantamento com drone apresenta um melhor desempenho, uma vez que apresenta maior rapidez para executar o levantamento e apresenta também uma quantidade de pontos coletados maior, principalmente os drones RTK. Oferecendo assim, baixo custo de investimento e de operação.

É essencial ressaltar a importância da atualização cartográfica contínua. Com a tecnologia e a precisão disponíveis atualmente, a capacidade de gerar informações geoespaciais altamente precisas é mais acessível do que nunca. Isso significa que as organizações envolvidas na cartografia, Planejamento urbano, gestão ambiental e outros campos devem considerar a incorporação desses produtos atualizados em suas operações.

A atualização cartográfica frequente é crucial para refletir as mudanças que ocorrem no mundo real. Ambientes urbanos, paisagens naturais e infraestruturas estão em constante evolução, e manter os mapas e modelos atualizados é essencial para uma tomada de decisão eficaz. Os produtos gerados pelo Pix4D, com sua alta precisão, podem desempenhar um papel fundamental nesse processo de atualização, proporcionando informações geoespaciais atualizadas e confiáveis para um Planejamento mais preciso e eficiente.

Além disso, recomenda-se que na mesma área escolhida para realizar um levantamento com drones, seja também realizado o levantamento em campo com a utilização dos equipamentos tradicionais, principalmente com a estação total, para resultados mais precisos para o estudo comparativo dos dois métodos.

Os drones também apresentam a desvantagem de voar em baixas altitudes e em condições climáticas favoráveis. A etapa de regulamentação junto aos órgãos reguladores e fiscalizadores também é considerada uma desvantagem pela burocratização. Além de existir restrições de áreas onde o uso de drones é permitido, estabelecidas pelas normas brasileiras já apresentadas. Avaliando-se a velocidade de levantamento, o levantamento com drone apresenta o melhor desempenho em relação à estação total. Um drone com receptor RTK gasta, em média, menos de duas horas para realizar um levantamento e apresenta uma quantidade de pontos coletados maior do que coletado com estação total, entretanto o processamento de imagens através dos *softwares* é mais demorado.

O processamento de imagens das simulações de voo realizadas no *software* Metashape obteve etapas com duração em média de uma hora, entretanto algumas etapas demandam mais tempo, chegando a duas horas e meia de duração. Já um levantamento em campo com estação total necessita de uma média de três a quatro horas, mas seu processamento de imagens necessita de menos de uma hora.

Em um levantamento com drones, devido à quantidade de pontos serem maiores, os produtos gerados terão alta definição e qualidade de resolução. Um drone possui câmaras de alta resolução, com a qual analisa-se a resolução do pixel e a distância focal, apresentando mais detalhes em relação à superfície do terreno.

## 7. Referências Bibliográficas

- ASPR. O QUE É ASPR? Disponível em: <https://www.asprs.org/organization/what-is> Acesso em: 3 set. 2020.
- ANDRADE, J. B. Fotogrametria. Curitiba: SBEE, 1998, 1p. BORGES, A.C. Topografia aplicada à engenharia civil. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda, v.2. 232p. 1992.
- BLASCHKE, W. Experiencias Práticas del Empleo de la Fotogrametria em la Construcción de Autopistas. Strasse und Autobahn. V. 9, 2010.
- BORGES, A.C. Topografia aplicada à engenharia civil. São Paulo, Ed. Edgar Blücher Ltda, v.2. 232p. 2002.
- CASACA, J.M; MATOS, J.L; DIAS, J.M.B. Topografia geral. 4.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- Cox, T. F., & Cox, M. A. (2000). Multidimensional scaling. CRC press. "MDS is a statistical technique for analyzing data that arise from a similarity or dissimilarity matrix."
- COSTA, S.M.A et al. RBMC em tempo real, via NTRIP, e seus benefícios nos levantamentos RTK e DGPS. Simpósio Brasileiro De Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação, v. 2, 2008.
- CABRAL, n. M., rothfuss, r., & morato, r. S. A organização e a ocupação do espaço urbano nas cidades do século xxi : impactos das políticas públicas do brasil dos anos 90 no direito de ir e vir no ambiente local . Amicus curiae, 9(9) (2010), 1–26.
- EISENBEISS, H. The Potential of Unmanned Aerial Vehicles for Mapping. (2009).
- EISENBEISS, H. VANT Photogrammetry. Zurich, University of Technology Dresden. Doctor of Sciences: (2009) 237.
- FRANÇA, Rovane Marcos de. CABRAL, Cesar Rogério. HASENACK, Markus, 2018. Princípios de Geodésia Elementar Disponível em: 53 [http://sites.florianopolisifsc.edubr.grimensurafis/2018/08/principios\\_de\\_geodesia\\_elementar.pdf](http://sites.florianopolisifsc.edubr.grimensurafis/2018/08/principios_de_geodesia_elementar.pdf) > Acesso em: 01 abr. 2021.
- HABITAÇ, â. O. E. Relatório sobre as condições do planeamento infraestruturas em maputo international growth center (2011).
- Hartley, R. e Zisserman, A. (2013) - "Multiple View Geometry in Computer Vision".
- Kumar, V., Nehra, R., & Sharma, R. (2012). A survey of the applications of unmanned aerial vehicles. International Journal of Computer Science and Engineering Survey, 3(3), 57-67.

- LIMA, O. P.; LOCH, C. O Uso de Câmaras Fotográficas de Pequeno Porte nos Levantamentos Cartográficos Destinados ao Cadastro Técnico Multifinalitário. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Multifinalitário – COBRAC, 2018, Florianópolis.
- LOPES, J. A. Ortofoto. In: Desenvolvimento e Tecnologia, Rio de Janeiro- RJ; jan./mar., 1987.
- MELO, S. A. MINÁ, S.J.S. AQUINO, I.S. OLIVEIRA, A. G. O USO DO GPS DE NAVEGAÇÃO EM PEQUENAS ÁREAS AGRÍCOLAS; Revista Verde (Mossoró – RN– Brasil) v.6, n.4, p.137 – 141 outubro/dezembro de 2011.
- Mikhail, E. M., Bethel, J. S., e McGlone, J. C. (2010) - "Introduction to Modern Photogrammetry".
- MOORE, I.D.; GESSLER, P.E.; WHORTH NIELSEN, G.A.; PERERSON, G.A. Soil attribute prediction using terrain analysis. Soil Science Society of America Journal, 2013.
- SANTOS, T., et al.. Detecção de alterações em meio urbano baseada na comparação de elementos extraídos a partir de imagens de alta resolução espacial. Aplicação à área da Alta de Lisboa. XII Cólóquio Iberico de Geografia. Porto, Portugal (2010).
- STEIN, R. T. Cartografia digital e sensoriamento remoto [recurso eletrônico]; revisão técnica: Alexandre Appio. – Porto Alegre: SAGAH, 2020.
- STEIN, D. P. Avaliação da degradação do meio físico da bacia do rio Santo Anastácio, oeste paulista. 1999. 197 p. Tese (Doutorado em Geociências). Programa de Pós-graduação da Universidade Estadual Paulista – IGCE. Rio Claro, SP.
- ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do Autor, 2010.
- TAHAR, K., N.. "*A New Approach On Slope Data Acquisition Using Unmanned Aerial Vehicle.*" *International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences* Vol:13 (2012).
- PORTUGAL, J.L.; SÁ, L.A.C.M. de; ROMÃO, V.M.C.; CARNEIRO, A.F.T. Modelo Digital do Terreno. Cartografia e Cadastro, n. 10, p.23-31, junho,1999.
- VEIGA, L. A. K; ZANETTI, M. A. Z; FAGGION, P. L. Fundamentos de Topografia. Apostila do curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2012.
- Robinson, M. W., Frey, J. G., & Orton, P. M. (2013). Applications of small unmanned aerial vehicles for lake research. *Journal of Unmanned Vehicle Systems*, 1(1), 15-30.