



**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS**  
**DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL**  
**GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES BASES DE DADOS PARA**  
**EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM**

**IGOR SILVA MARQUES FERREIRA**

**BELO HORIZONTE**

**2020**

IGOR SILVA MARQUES FERREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES BASES DE DADOS PARA  
EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM**

Monografia apresentada como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II do curso Engenharia Ambiental e Sanitária no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais.

Orientador: Profa. Dra. Lília Maria de Oliveira  
Co-Orientador: Renato Queiza da Vitória  
Co-Orientador: Gustavo Ferreira de Souza

BELO HORIZONTE

2020



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLOGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS



ATA N 19 / 2020 - DCTA (11.55.03)

N do Protocolo: 23062.033138/2020-18

Belo Horizonte-MG, 07 de dezembro de 2020.

FOLHA DE APROVAÇÃO DE TCC

IGOR SILVA MARQUES FERREIRA

ANÁLISE COMPARATIVA DE DIFERENTES BASES DE DADOS PARA  
EXTRAÇÃO DE REDE DE DRENAGEM


Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Ambiental e Sanitarista.


Aprovado em 27 de Novembro de 2020

Banca examinadora:

Lília Maria de Oliveira

Prof. Dra. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - Orientadora

  
Renato Queiza da Vitória  
Engenheiro Civil - Co-orientador

  
Gustavo Ferreira de Souza

Geógrafo - Doutorando UFMG - Co-Orientador

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 19, ano: 2020, tipo: ATA, data de emissão: 07/12/2020 e o código de verificação: d3e5c72484



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO  
TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
AMBIENTAL - NS



ATA N 19 / 2020 - DCTA (11.55.03)

N do Protocolo: 23062.033138/2020-18

Belo Horizonte-MG, 07 de dezembro de 2020.

Évelyn Márcia Pôssa

Dra. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá - 1º Examinador

Carlos Wagner Gonçalves Andrade Coelho

Prof. Dr. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais - 2º Examinador

*(Assinado digitalmente em 07/12/2020 08:59 )*  
CARLOS WAGNER GONCALVES  
ANDRADE COELHO  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
Matricula: 2145451

*(Assinado digitalmente em 07/12/2020 07:48 )*  
LILIA MARIA DE OLIVEIRA  
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO  
Matricula: 1815815

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sig.cefetmg.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: 19, ano: 2020, tipo: ATA, data de emissão: 07/12/2020 e o código de verificação: d3e5c72484

## RESUMO

FERREIRA, Igor Silva Marques. **Análise comparativa de diferentes bases de dados para extração de rede de drenagem**. 2020. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2020.

A delimitação da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros passos para realização de uma série de estudos que buscam compreender sua dinâmica hidrológica. Em regiões carentes de mapeamento topográfico, é comum a utilização de modelos digitais de elevação (MDE) para delimitação automática de rede de drenagem e bacias hidrográficas, e obtenção de parâmetros morfométricos. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, em uma pequena bacia de aproximadamente 145 hectares, qual base de dados (ALOS/PALSAR SRTM ou VANT) é a mais adequada na obtenção da rede de drenagem. Além destas duas bases de dados, realizou-se a vetorização manual da rede de drenagem a partir de pontos mapeados via GPS e fotointerpretação das imagens obtidas por VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Comparou-se as respectivas redes de drenagem com a base hidrográfica ortocodificada do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Observou-se que houve diferenças entre as nascentes indicadas pelo IGAM e a nascente mapeada via GPS, e que a copa das árvores interferiu no processo de delimitação automática da rede de drenagem. Concluiu-se que a rede de drenagem extraída a partir dos dados obtidos por VANT, MDE de melhor resolução espacial, apresentou maior correspondência com a rede de drenagem de referência do IGAM, mostrando-se a base de dados mais adequada para o mapeamento de redes de drenagem de pequenas bacias, dentre as avaliadas neste trabalho.

**Palavras-chave:** Rede de drenagem, Modelo Digital de Elevação, VANT, ALOS/PALSAR SRTM

## ABSTRACT

FERREIRA, Igor Silva Marques. **Comparative analysis of different databases for drainage network extraction**. 2020. 68 f. Undergraduate thesis - Environmental and Sanitary Engineering, Federal Center for Technological Education of Minas Gerais (CEFET-MG), Belo Horizonte, 2020.

The delimitation of the drainage network of watersheds is one of the first steps to carry out a series of studies that seek to understand its hydrological dynamics. In regions lacking topographic mapping, it is common to use digital elevation models (DEM) for automatic delimitation of drainage networks and watersheds, and to obtaining morphometric parameters. Given this, the present work aimed to assess, in a small watershed of approximately 145 hectares, which database (ALOS/PALSAR SRTM or UAV) is the most adequate to obtain the drainage network. Besides both databases mentioned above, a manual vectorization of the drainage network was performed from points mapped via GPS and photointerpretation of the UAV (Unmanned Aerial Vehicle) images. The drainage networks extracted were compared to the orthorectified hydrographic base of the Institute of Water Management of Minas Gerais (IGAM). It was noticed that there were differences between the water sources indicated by IGAM and the ones mapped via GPS and that the treetops interfered in the process of automatic delimitation of the drainage network. It was concluded that the drainage network extracted from the data obtained by UAV, the MDE with better spatial resolution, showed closer alignment with the hydrographic reference base of the IGAM, proving to be the most adequate database for the mapping of drainage networks of small watersheds assessed in this work.

**Keywords:** Drainage network, Digital Elevation Model, UAV, ALOS/PALSAR SRTM

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>9</b>
1.1. Relevância e Justificativa .....	10
<b>2 OBJETIVO.....</b>	<b>11</b>
2.1. Objetivo geral.....	11
2.2. Objetivos específicos .....	11
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>12</b>
3.1. Sensoriamento Remoto e Fotogrametria .....	12
3.2. Fotointerpretação .....	17
3.3. Aerofotogrametria .....	20
3.3.1. Plano de Voo .....	20
3.3.2. Aquisição da Imagem .....	21
3.4. VANT .....	25
3.4.1. Conceito.....	25
3.4.2. Legislação.....	25
3.4.3. Classificação .....	25
3.4.4. Componentes de um VANT.....	28
3.4.5. DJI Phantom 4.....	29
3.5. Global Position System – GPS.....	31
3.5.1. Definição e Objetivos .....	31
3.5.2. Formas e Dimensões da Terra .....	31
3.5.3. Funcionamento .....	32
3.6. Modelo Digital de Superfície.....	33
3.7. Mapeamento Automático de Rede de Drenagem .....	35
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
4.1. Área de Estudo .....	38

<b>4.2.</b>	<b>Rede Hidrográfica do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM).....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.</b>	<b>Levantamento de Campo .....</b>	<b>39</b>
4.3.1.	<i>GPS</i> .....	39
4.3.2.	<i>VANT</i> .....	40
<b>4.4.</b>	<b>Mapeamento da rede de drenagem .....</b>	<b>47</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>51</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE .....</b>	<b>61</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>63</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A análise topográfica é uma etapa essencial para a compreensão hidrológica de um determinado local analisado. Ela possibilita, além da visualização tridimensional do terreno, a extração de informações como a direção de fluxo do escoamento superficial, rede de drenagem, divisores da bacia hidrográfica, declividade, dentre outros (JENSON; DOMINGUE, 1988).

No processo de extração automática de rede de drenagem, utiliza-se de informações de relevo, que podem ser representadas por uma estrutura numérica de dados referente à distribuição espacial da altitude e da superfície do terreno, denominada Modelo Numérico de Terreno (MNT). Podem ser obtidos a partir de fotografias aéreas, através de interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica ou por meio de sensores remotos (JENSEN; EPIPHANIO, 2011; ALVES SOBRINHO *et al.*, 2010).

Os MNTs, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE), tem sido uma das principais fontes de dados de elevação da superfície em muitos estudos ambientais, como análise hidrológica, análise de risco de erosão, produção de sedimentos e risco de inundações (HOU *et al.*, 2011).

Com o avanço da fotogrametria digital, os MDEs também podem ser gerados utilizando imagens obtidas por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), popularmente conhecidos como Drones. Trata-se de veículos aéreos, com baixo custo operacional, que podem ser operados via controle remoto ou a partir de um plano de voo pré-determinado, dependendo do modelo (FARIA; COSTA, 2015). São capazes de realizar o mapeamento da superfície terrestre produzindo imagens com alta resolução espacial (FERREIRA, 2014).

O uso de MDE se mostra uma alternativa estratégica em países que apresentam baixa cobertura de mapeamento topográfico, o que permite a obtenção de variáveis geomorfométricas em regiões não mapeadas (VALERIANO; ROSSETTI, 2012). Desta forma, a utilização de MDE tem favorecido o desenvolvimento de pesquisas em pequenas e médias bacias hidrográficas, auxiliando no reconhecimento de suas características ambientais, o que é de suma importância no processo de gerenciamento dos recursos naturais (MORAIS; SALES, 2016).

### **1.1. Relevância e Justificativa**

A extração da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é um dos primeiros passos para realização de uma série de estudos em diversas áreas de conhecimento. A obtenção do Modelo Digital de Elevação (MDE) é uma das primeiras etapas no processo de delimitação automática da rede de drenagem. Diversas são as bases de dados existentes passíveis de serem utilizadas neste processo, entretanto, deve ser avaliado qual a base de dados mais adequada para determinada área de estudo.

Assim, o presente estudo se justifica na medida que busca avaliar, em uma pequena bacia de 145 hectares, qual base de dados (ALOS/PALSAR SRTM E VANT) é a mais adequada na obtenção da rede de drenagem quando comparada a uma rede de drenagem de referência (Instituto Mineiro de Gestão das Águas - IGAM).

## **2 OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo geral**

Analisar a rede de drenagem obtida a partir de diferentes produtos de MDE, com resoluções espaciais distintas.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Mapear a rede de drenagem, utilizando levantamento planialtimétrico através de um VANT;
- Mapear a rede de drenagem, através de levantamento a campo com uso de GPS e fotointerpretação de imagem;
- Mapear a rede de drenagem, utilizando MDE ALOS/PALSAR SRTM;
- Comparar as respectivas drenagens com a disponibilizada pelo IGAM;
- Avaliar qual base de dados é a mais adequada.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Sensoriamento Remoto e Fotogrametria

Sensoriamento remoto, denominação utilizada pela primeira vez no início dos anos 1960 por Evelyn L. Pruit, se trata de uma técnica de coleta automática de dados para o levantamento e monitoramento dos recursos terrestres em escala global. É uma ciência que tem a finalidade de obter imagens da superfície terrestre através da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres, sem que haja contato físico de qualquer espécie entre o sensor e o objeto (MENESES; ALMEIDA, 2012).

A radiação eletromagnética interage com os alvos da superfície terrestre podendo ser absorvida, refletida ou transmitida, e cada alvo responde de maneiras distintas para a mesma energia (MOREIRA, 2001). A energia refletida pelas folhas, por exemplo, é afetada pelo conteúdo de água, idade da folha, condição de iluminação, dentre outros fatores fisiológicos (GAUSMAN, 1985 apud MOREIRA, 2001)<sup>1</sup>. Uma planta saudável, por exemplo, terá uma resposta diferente, aos comprimentos de onda do espectro eletromagnético, quando se comparada com uma planta que sofre de estresse hídrico.

A radiação eletromagnética compreende diferentes regiões espectrais, que fazem parte do espectro eletromagnético. O espectro eletromagnético abrange desde os comprimentos de ondas dos raios cósmicos até os comprimentos de corrente alternada emitidos por redes de alta tensão (**Tabela 3-1**). E cada objeto ou alvo irá responder de maneira diferente a essa irradiação (MENESES; ALMEIDA, 2012). A **Figura 3-1** demonstra o comportamento da refletância em diferentes regiões do espectro, desde o visível até o infravermelho médio. Nota-se que a água absorve toda a energia no infravermelho próximo e infravermelho médio, e reflete pouco na região do visível. Nos comprimentos de onda acima de 1300 nm, o conteúdo de água das folhas influencia a interação com a radiação. A água no tecido foliar absorve especialmente nas faixas entorno de 1450 nm e 1950 nm, sendo comprimentos de

---

<sup>1</sup> GAUSMAN, H. W. Leaf reflectance of near-infrared. **Photogrammetric engineering and remote Sensing**. v. 51, n.11, p. 1725-1734, 1985.

onda importantes na determinação do conteúdo hídrico das folhas (PEÑUELAS *et al.*, 1997 apud SHIRATSUCHI *et al.*, 2014)<sup>2</sup>.

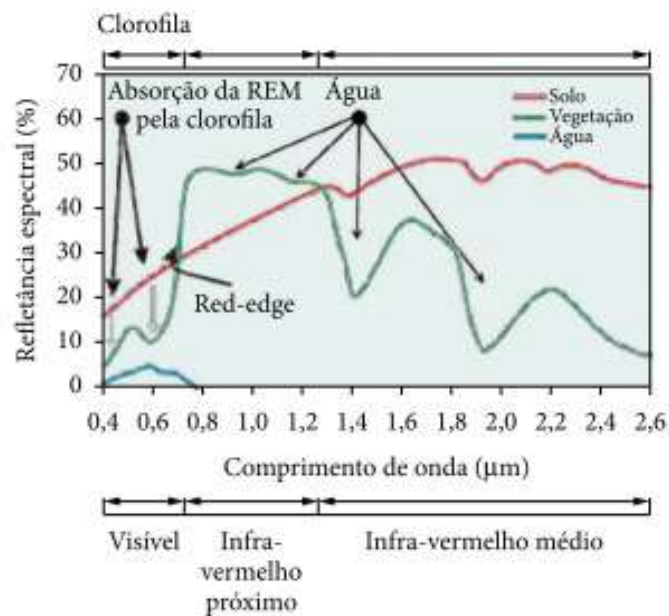
**Tabela 3-1** – Divisão do espectro eletromagnético

Intervalo Espectral	Comprimento de Onda
Raios cósmicos	0,01 Å <sup>o</sup>
Raios gama	0,01 – 0,1 Å <sup>o</sup>
Raios X	0,1 – 10 Å <sup>o</sup>
Ultravioleta	100nm – 0,38µm
Visível	0,38 – 0,76 µm
Infravermelho próximo	0,76 – 1,2 µm
Infravermelho de ondas curtas	1,2 – 3,0 µm
Infravermelho médio	3,0 – 5,0 µm
Infravermelho termal	5,0 µm – 1 mm
Micro-ondas	1 mm – 100 cm
Rádio	1 m – 10 km
Áudio	10 – 100 km
Corrente alternada	> 100 km

Obs: Å<sup>o</sup> = 10<sup>-10</sup> m; nm = 10<sup>-9</sup> m; µm = 10<sup>-6</sup> m

Fonte – (MENESES; ALMEIDA, 2012)

**Figura 3-1** – Curvas características da refletância da água, solo e vegetação verde



Fonte – (SHIRATSUCHI *et al.*, 2014)

<sup>2</sup> PEÑUELAS, J.; BARET, F.; FILELLA, I. Semi-empirical indices to assess carotenoids/chlorophyll a ratio from leaf spectral reflectance. *Photosynthetica* v. 31, p. 221-230, 1995.

Os sensores medem e registram as informações da radiação eletromagnética. Podem ser classificados quanto: à fonte de radiação, ao princípio de funcionamento e ao tipo de produto (MOREIRA, 2001).

Quanto a fonte de radiação, podem ser ativos ou passivos. Os sensores passivos medem a radiação refletida e/ou emitidas pelos alvos que provêm de uma fonte externa (por exemplo, do sol). Os sensores ativos possuem uma fonte de radiação e por isso não dependem de uma fonte externa para irradiar o alvo (por exemplo, radares e câmeras fotográficas quando utilizam o “flash” como fonte de radiação) (MOREIRA, 2001).

Quanto ao princípio de funcionamento, os sensores ativos e passivos podem ser de varredura e de não varredura. Os sensores de não-varredura registram a radiação de uma área da superfície terrestre em sua totalidade. Nos sensores de varredura, a imagem da cena é formada pela aquisição sequencial de “imagens elementares do terreno” ou “elemento de resolução”, também denominada pixel (NOVO, 1992 apud MOREIRA, 2001)<sup>3</sup>.

Quanto ao tipo de produto, os sensores dividem-se em duas categorias: fotográficos e os não-fotográficos. Os sistemas fotográficos produzem imagens através de um sistema óptico (conjuntos de lentes), que por sua vez registram a energia refletida da superfície da Terra em uma película fotossensível, que são os filmes fotográficos (detetores). Os sistemas não-fotográficos medem a intensidade da radiação eletromagnética, proveniente dos alvos da superfície terrestre, em determinadas faixas espectrais do espectro eletromagnético (MOREIRA, 2001).

Os filmes fotográficos são capazes de responder a radiação em determinadas faixas espectrais, que pode oscilar entre 350 nm (ultravioleta) e 900 nm (parte do infravermelho próximo). A sensibilidade espectral de um filme depende do tempo de exposição do filme à luz e não da intensidade do fluxo luminoso como acontece nos detetores nos sensores não-fotogramétricos. (MOREIRA, 2001).

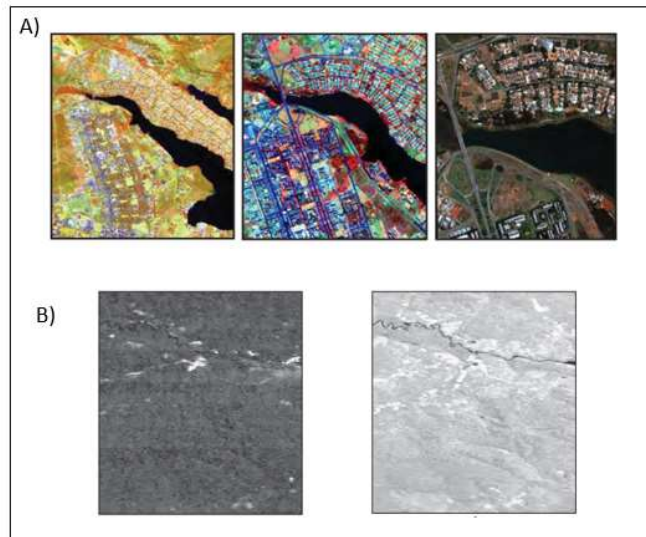
---

<sup>3</sup> NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações**. 2ª Edição. Ed. Blucher. São José dos Campos, 1992.

As imagens obtidas por sensoriamento remoto representam, em escala e sobre o plano 2D, as feições naturais e artificiais do terreno. São formadas por matrizes, sendo que para cada linha e coluna há um elemento da imagem (pixel). Este representa o valor da radiância do alvo e no sensor é convertido para um valor digital, que é uma média da radiância dos diferentes alvos contidos no pixel (MENESES; ALMEIDA, 2012). Além disso, possui algumas características, dentre elas: resolução espacial, temporal, radiométrica e espectral.

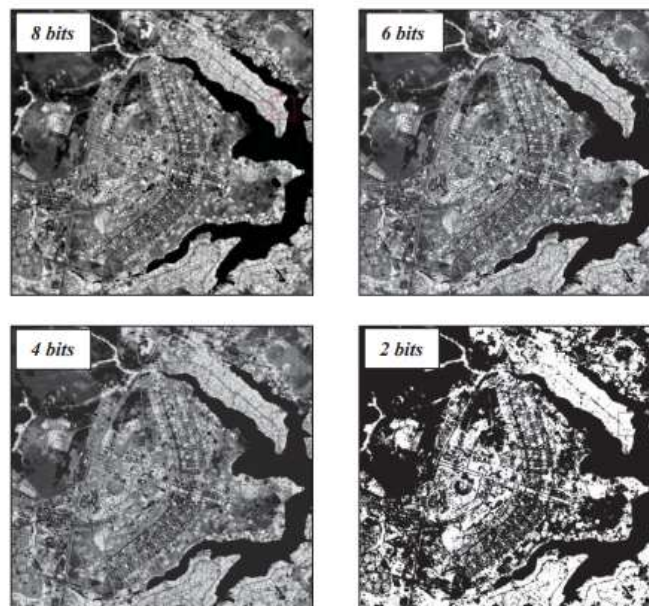
A resolução espectral diz respeito ao número e o tamanho de intervalos de comprimentos de ondas específicos (chamados de bandas ou canais) no espectro eletromagnético aos quais um instrumento de sensoriamento remoto é sensível. Os sistemas de sensoriamento remoto podem ser multiespectrais, ou seja, registram a energia em várias bandas. A **Figura 3-2b**, por exemplo, mostra esse efeito da resolução espectral. Na banda do infravermelho próximo, os rios são facilmente identificados, porque a água possui uma baixa refletância, enquanto a vegetação tem uma alta refletância, promovendo um alto contraste entre os dois alvos. A resolução espacial determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem. Quanto maior a resolução espacial, maior a capacidade do observador em conseguir identificar objetos na imagem (**Figura 3-2a**). A resolução temporal refere-se à frequência que o sensor revisita uma área (JENSEN; EPIPHANIO, 2011). A resolução radiométrica diz respeito ao número de níveis de radiância que o detector pode discriminar. Quanto maior a resolução radiométrica, maior será a qualidade da imagem. É expressa em termos de números de dígitos binários (bits). Por exemplo, uma imagem, com resolução radiométrica de 8 bits, apresenta 256 níveis de cinza (**Figura 3-3**) (MENESES; ALMEIDA, 2012).

**Figura 3-2** – Resoluções das imagens, (a) Da esquerda para a direita, imagens dos satélites, Landsat com resolução espacial de 30m, Spot com 10 m e Ikonos com 1 m, (b) Da esquerda para a direita, imagens da região amazônica nas bandas do visível e do infravermelho próximo exemplificando o efeito da resolução espectral no contraste do rio com a vegetação



Fonte – Adaptação de (MENESES; ALMEIDA, 2012)

**Figura 3-3** – Exemplos de imagens com diferentes resoluções radiométricas



Fonte – (MENESES; ALMEIDA, 2012)



De acordo com Moreira (2001), a coleta de dados dos alvos da superfície terrestre pode ser feita em três níveis: terrestre, suborbital e orbital. No nível terrestre, os sensores podem ser instalados em mastros, colocados em barcos ou fixados em boias. No nível suborbital ou aéreo, utiliza-se as aeronaves como plataforma de coleta de dados. E no nível orbital, empregam-se os satélites não tripulados.

Uma alternativa de plataforma, utilizada para fotogrametria aérea são os veículos aéreos não tripulados (VANTs) que podem carregar câmeras digitais, câmeras infravermelho termais, sensores hiperespectrais ou ainda sistemas sensores de radares. Normalmente, fazem uso de uma tecnologia sem fio para transmitir imagens em tempo real para a base principal (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

### **3.2. Fotointerpretação**

A fotointerpretação refere-se a um conjunto de processos que envolvem a análise visual de imagens fotográficas. Pode ser utilizada em fotografias aéreas, imagens obtidas por satélites ou qualquer outro produto na forma fotográfica (DAINELLI, 1990 apud MOREIRA, 2001)<sup>4</sup>.

Ao realizar a fotointerpretação, utiliza-se de elementos de interpretação de imagem. Os elementos de interpretação de imagem incluem a localização, tonalidade e cor, tamanho, forma, textura, padrão, sítio, situação, associação, dentre outros (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

A localização refere-se à obtenção de informações precisas de coordenadas x e y de um objeto. Essas informações podem ser extraídas através de medidas de campo utilizando um *Global Positioning System* (GPS) ou diretamente em uma imagem obtida por sensoriamento remoto (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

Em uma foto ou imagem de satélite, as diferentes quantidades de energia refletida pelos alvos estão associadas a valores de cinza, chamado de tons de cinza. Quando o objeto reflete muita energia, a quantidade que chega no sensor é grande, e neste caso associa-se esta quantidade de energia a um nível de cinza claro. De forma análoga, se o objeto reflete pouca energia e a

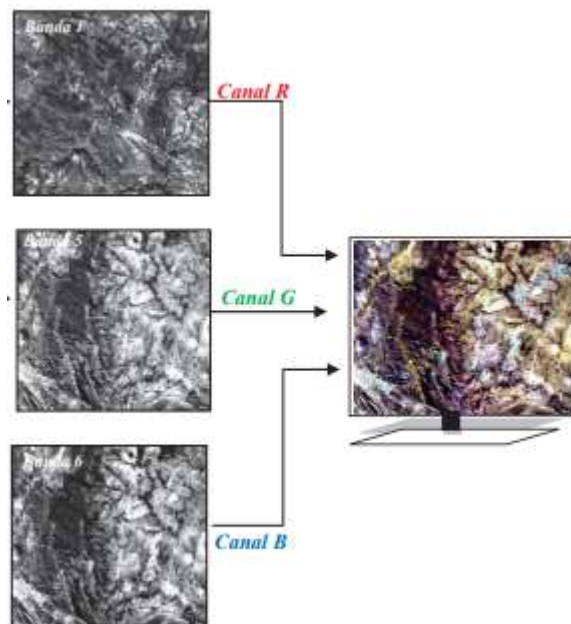
---

<sup>4</sup> DAINELLI, P. Photointerpretation criteria for land-resources studies. In: **Food and Agriculture Organization of the United Nation (FAO)**. Roma: FAO, 1990. p. 19-26. (RSC Series 54).

quantidade que chega no sensor é baixa, o nível de cinza associado ao objeto será mais escuro (MOREIRA, 2001).

A cor é muito utilizada no lugar da tonalidade, devido a maior facilidade em enxergar objetos coloridos do que objetos em tons de cinza. Utiliza-se de combinação de bandas individuais de dados de sensoriamento remoto para criação de composições coloridas, conforme a **Figura 3-4**, que retrata uma composição colorida (cor natural) composta pelas bandas *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul), da região do visível do espectro eletromagnético (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

**Figura 3-4** – Composição colorida RGB



Fonte – Adaptação de (MENESES; ALMEIDA, 2012)

É comum associar a forma dos objetos com os seus respectivos tamanhos no processo de fotointerpretação de uma fotografia aérea ou imagem de satélite. Por exemplo, áreas agrícolas tem formas regulares e bem definidas, pois as culturas são plantadas em linha. No entanto, o tamanho das áreas reservadas ao plantio de horticultura é menor quando se comparada as áreas destinadas ao plantio de cana-de-açúcar ou arroz. Sendo assim, uma das utilidades destes critérios seria a segregação das diferentes culturas agrícolas (MOREIRA, 2001).

A textura se refere à disposição e o arranjo característico dos tons de cinza ou cores que se repetem em uma imagem. É criada pelas repetições de tons de grupos de objetos que são muito pequenos para serem discriminados individualmente. Quanto a textura, os objetos podem ser classificados em liso (uniforme, homogêneo), intermediário e rugoso (grosseiro, heterogêneo). A **Figura 3-5** mostra uma plantação com textura relativamente grossa, o gramado e a rodovia com uma textura lisa (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

**Figura 3-5** – Diferentes tipos de textura



Fonte: Adaptação de (JENSEN; EPIPHANIO, 2011)

O padrão refere-se à distribuição espacial de feições características. Por exemplo, um padrão bastante peculiar é o da drenagem de rios e córregos, que lembra a distribuição dos vasos sanguíneos do corpo humano (**Figura 3-6**) (MOREIRA, 2001).

**Figura 3-6** – Padrão sinuoso de canais em forma de trança



Fonte – Adaptação de (JENSEN; EIPHANIO, 2011)

Sítio, situação e associação são elementos muito importantes na identificação de um objeto ou atividade. Um sítio tem características físicas únicas (por exemplo, solo descoberto, arbusto/cerrado, água, asfalto). A situação refere-se à organização de determinados objetos na cena, em relação ao outro (por exemplo, materiais de construção estão distribuídos de uma maneira lógica). Associação diz respeito as feições ou atividades que se relacionam entre si. Por exemplo, estações de tratamento de esgoto se localizam, quase sempre, em uma área plana, próximas a uma fonte de água e relativamente próximas da comunidade (JENSEN; EIPHANIO, 2011).

### **3.3. Aerofotogrametria**

#### *3.3.1. Plano de Voo*

De acordo com Andrade (1998) apud Franquitto (2019)<sup>5</sup>, para se realizar a tomada de fotos aéreas, é preciso de um planejamento elaborado para atingir o objetivo a ser alcançado que deve conter as seguintes informações:

- Câmera;
- Aeronave e sua autonomia de voo;
- Altitude de voo;

---

<sup>5</sup> ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. SBRR, 1998.

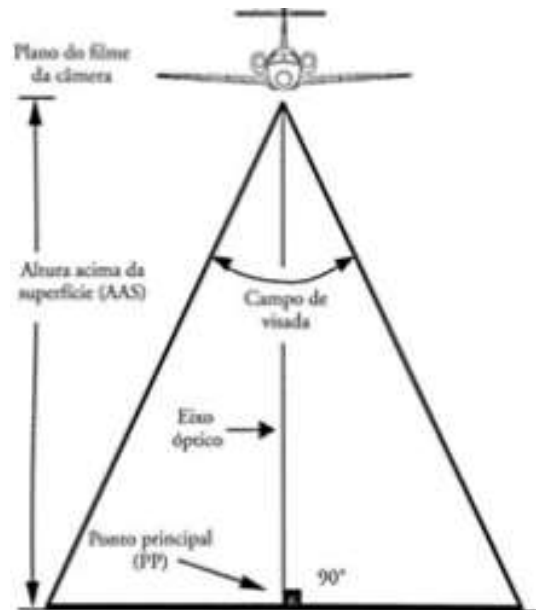
- Número de fotografias em cada linha de voo;
- Número de linhas de voo
- “Quantidade e o tipo de filme” ou capacidade de armazenamento de imagem;
- Tempo de exposição;
- Abertura da câmera, ou resolução das fotografias;
- Intervalo de tempo entre duas exposições;

Para um voo com VANT, a câmera escolhida dependerá da finalidade do estudo, podendo utilizar câmeras RGB, câmeras sensíveis a radiação no infravermelho próximo ou até câmeras hiperspectrais. A autonomia de voo é a capacidade que a bateria tem de manter a aeronave em operação. Altitude de voo, número de linhas de voo e a quantidade de fotografias para cada linha são definidas pela resolução espacial que se deseja para o produto final. A “quantidade e o tipo de filme” se referem a capacidade de armazenamento das câmeras ou cartões de memória. O tempo de exposição, a abertura da câmera e intervalo de tempo entre duas exposições são determinadas no plano de voo e são dependentes da resolução espacial e do recobrimento longitudinal e lateral.

### *3.3.2. Aquisição da Imagem*

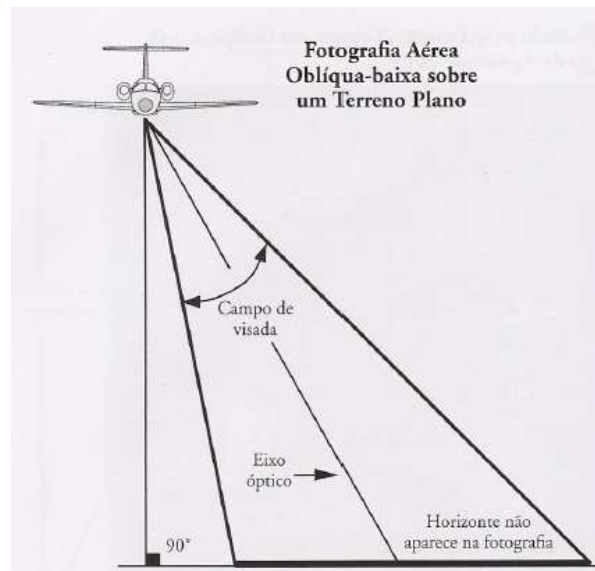
As fotografias aéreas podem ser classificadas em verticais e oblíquas (**Figura 3-7** e **Figura 3-8**). Considera-se vertical quando o eixo óptico está dentro de  $\pm 3^\circ$  da vertical (perpendicular) à superfície da Terra. Uma fotografia em que o eixo óptico da câmera está deslocada da vertical em alguns graus é chamada de fotografia aérea oblíqua. Em geral, as fotografias aéreas oblíquas são mais fáceis de interpretar do que uma fotografia aérea vertical, pois o ser humano está mais acostumado a ver as coisas lateralmente, mas não são utilizadas para extrair informações quantitativas (JENSEN; EPIPHANIO, 2011).

**Figura 3-7 – Fotografia aérea vertical**



Fonte – (JENSEN; EIPHANIO, 2011)

**Figura 3-8 – Fotografia aérea oblíqua**



Fonte – (JENSEN; EIPHANIO, 2011)

O voo fotogramétrico é planejado contendo as linhas de voo e o tempo entre as exposições individuais ao longo de uma linha de voo, de modo que cada fotografia se sobreponha a fotografia seguinte da linha de voo (LINDER, 2003). É necessário que se tenha uma taxa de sobreposição lateral e longitudinal entre as fotos (OTAKE, 2017). Isso viabiliza a visão

estereoscópica que permite a percepção de profundidade, ou seja, a visualização em três dimensões (MARCHETTI; GARCIA, 1986).

Para aplicação da estereoscopia, utiliza-se de um par de fotografias, onde uma mesma área está presente em duas fotos, mas vistas de diferentes ângulos (**Figura 3-9**). Para tal, o voo fotogramétrico é realizado em linhas de voo, seguindo um padrão onde cada fotografia possui um recobrimento longitudinal (sobreposição estereoscópica) de 60% e recobrimento lateral de 30% (SANTOS; DIAS, 2011). Algumas vezes, as fotográficas são adquiridas com mais de 80% de sobreposição estereoscópica em terreno montanhoso. A sobreposição estereoscópica é muito importante pois fornece pelo menos duas e, em alguns casos, três visadas fotográficas de cada objeto ao longo de uma linha de voo (**Figura 3-10**) (KONECNY, 2003 apud JENSEN; EPIPHANIO, 2011)<sup>6</sup>.

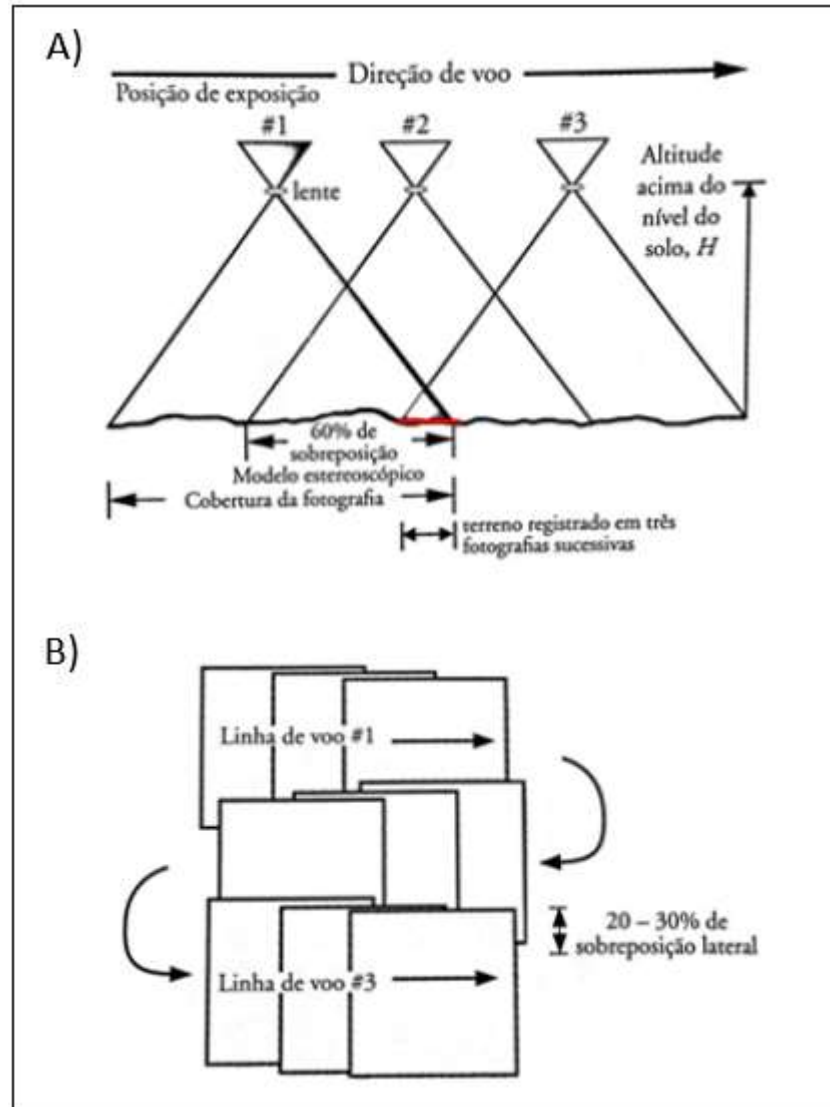
**Figura 3-9** - Visualização estereoscópica



Fonte – Adaptação de (JENSEN; EPIPHANIO, 2011)

<sup>6</sup> KONECNY, G. **Geoinformation: remote sensing, photogrammetry and geographic information systems**, London: Taylor & Francis, 248 p., 2003.

**Figura 3-10** – Tomada de fotografia aérea, (a) sobreposição estereoscópica, (b) sobreposição lateral.



Fonte – Adaptação de (JENSEN; EPIPHANIO, 2011)

Para voos com VANTs não existe uma definição universalmente aceita para recobrimento lateral e longitudinal. Conforme Nex e Remondino (2013), esses parâmetros variam de acordo com o objetivo do voo. Sendo assim, missões para geração detalhada de modelos 3D geralmente solicitam sobreposições altas e voos de baixa altitude, enquanto voos rápidos para levantamento e gerenciamento de emergência precisam de mais área a serem gravadas em poucos minutos, com uma menor resolução espacial.



O VANT pode estar sujeito a interferências como o vento, que pode levar a aeronave a desviar-se para esquerda ou direita da linha de voo desejada. Quando isso ocorre, a área de imageamento de cada fotografia (*footprint*) ou a linha de voo poderão apresentar-se deslocadas (JENSEN; EPIPHANIO, 2011). O que justifica a utilização de recobrimento longitudinal e lateral superiores a 60% e 30%, respectivamente.

### **3.4. VANT**

#### *3.4.1. Conceito*

O termo Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) corresponde à terminologia em inglês UAV – *Unmanned Aerial Vehicle*, nomenclatura adotada pelo Departamento de Defesa Norte Americano (*Department of Defense – DOD*). No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), utiliza-se, atualmente, o termo Aeronave Remotamente Pilotada (*Remotely Piloted Aircraft – RPA*). Também se utiliza a terminologia “drone” para caracterizar todo e qualquer objeto voador não tripulado, seja ele de qualquer propósito. É um termo genérico, sem amparo técnico ou definição na legislação.

#### *3.4.2. Legislação*

O Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94 aborda os requisitos gerais de competência da ANAC para aeronaves não tripuladas. Estabelece as condições para a operação de aeronaves não tripuladas no Brasil, levando em consideração o estágio do desenvolvimento atual desta tecnologia (AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2017).

Além disso, devem-se observar as regulamentações de outros entes da administração pública direta e indireta, tais como a Agência Nacional de Telecomunicações – ANATEL, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA e o Ministério da Defesa. Outras legislações são importantes no que se refere às responsabilizações nas esferas civil, administrativa e penal que podem incidir sobre o uso de aeronave não tripulada, com destaque àquelas disposições referentes à inviolabilidade da intimidade, da vida privada, da honra e da imagem das pessoas.

#### *3.4.3. Classificação*

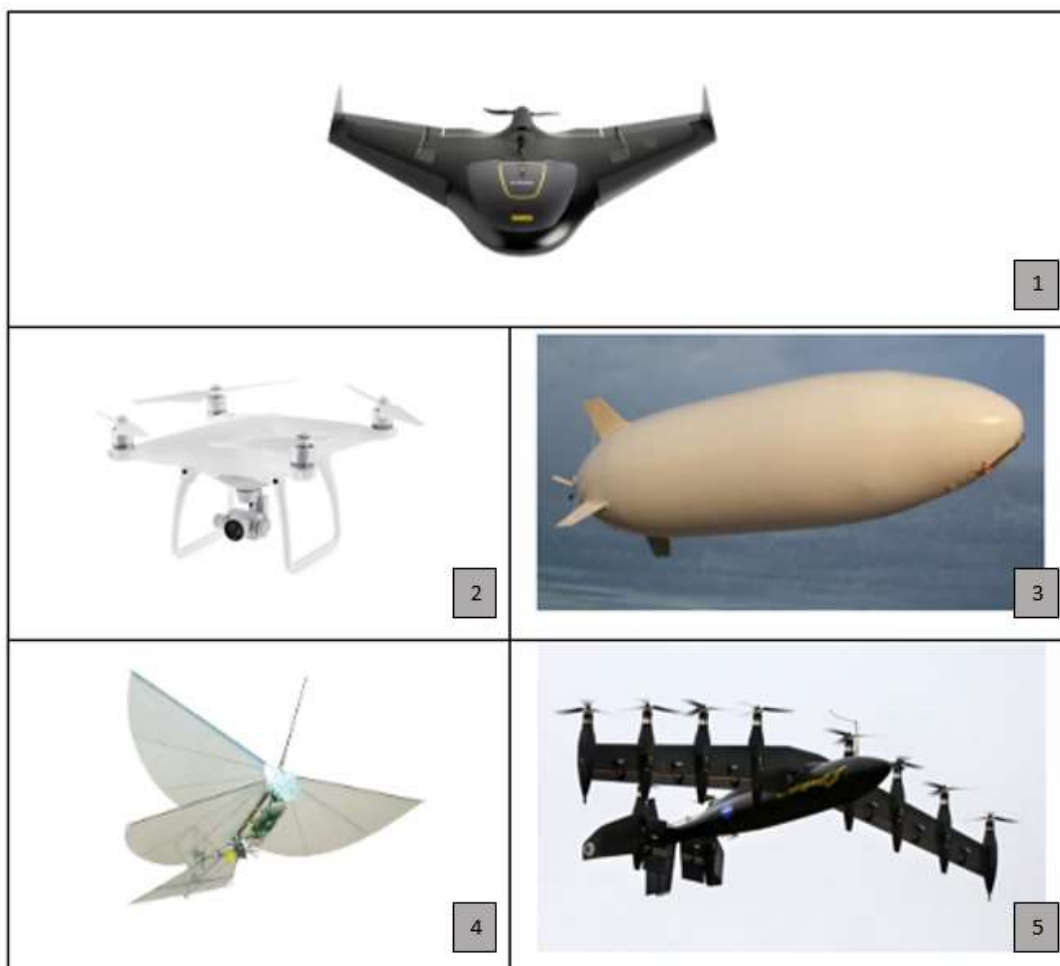
Percebe-se que existem, no mercado, uma grande diversidade de modelos de VANTs, com especificidades e finalidades distintas. Os VANTs podem ser classificados de acordo a

diversos critérios, dentre eles: material utilizado em sua fabricação, peso, dimensão, aerodinâmica, execução de voo, duração do tempo de voo, dentre outros.

Vários países possuem sua própria forma de segregar os diferentes veículos aéreos não tripulados existentes em classes, e muitas dessas classificações são semelhantes entre si e variam em poucas especificações (ANGELOV, 2012). Deste modo, segundo Alves Júnior (2015), os VANTs podem ser classificados em cinco categorias (**Figura 3-11**):

- VANT de asa fixa: aviões não tripulados que exigem uma pista para decolar e pousar, ou uma catapulta de lançamento. Tem longa duração de voo e pode voar a alta velocidade de cruzeiro. De acordo com Padilla (1996), cruzeiro é a etapa de voo compreendida entre o fim da subida e o início da descida, onde o avião passar maior parte do seu tempo em uma viagem.
- VANT de asa rotativa: veículos que possuem decolagem e aterrissagem vertical, tem a habilidade de pairar no ar com uma alta capacidade de execução de manobras. Tem diferentes configurações, tais como: hélice principal e uma secundária na cauda, com aspecto de um helicóptero convencional; motores em eixos, com número de eixos variando em quatro, seis, oito, ou mais, muitas vezes denominados de multirotores ou drones.
- Blimps (balões de ar): são como balões e dirigíveis, são mais leves que o ar, possuem longa duração de voo, baixas velocidades e geralmente são grandes em tamanho.
- Flapping-Wing (batedores de asas): aeronaves com asas flexíveis, inspiradas em pássaros ou insetos.
- Híbridos ou Conversíveis: possuem capacidade de decolar verticalmente e após a decolagem tem habilidade de inclinar os motores ou parte da fuselagem para desenvolverem um voo como os aviões.

**Figura 3-11** – Exemplos de VANT: (1) VANT de asa fixa, Trimble UX5 HP. (2) VANT de asa rotativa, Phantom 4. (3) Blimp, Sentinel Nevada Company. (4) VANT Flapping-Wing, H<sup>2</sup> Bird Universidade da Califórnia. (5) VANT Híbrido, GL10 Greased Lightning, desenvolvido pela NASA (National Aeronautics and Space Administration).



Fonte – (1) (DELAIR, 2020); (2) (CASTELLI, 2016); (3) (ALVES JÚNIOR, 2015); (4) (ALVES JÚNIOR, 2015); (5) (NASA, 2015)

De acordo com o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94 (2017), os VANTs são categorizados em três classes, sendo que o fator determinante se trata do peso máximo de decolagem da aeronave. São enquadrados na Classe um as aeronaves com peso máximo de decolagem maior que 150 kg. Aquelas com peso máximo de decolagem maior que 25 kg e menor ou igual a 150 kg pertencem a classe dois, e os veículos com peso máximo de decolagem menor ou igual a 25 kg fazem parte da classe três.

#### *3.4.4. Componentes de um VANT*

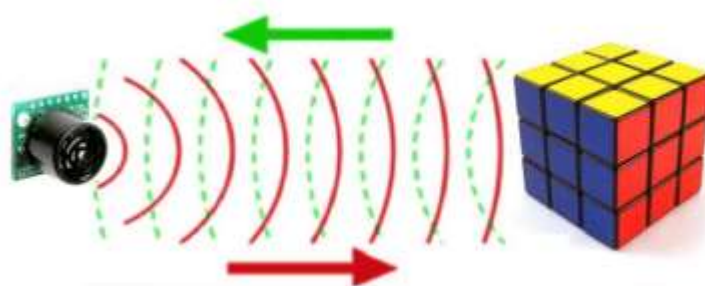
O VANT é composto por uma estação de controle em solo, um GPS acoplado e uma unidade de navegação inercial. O veículo recorre a uma unidade de navegação inercial (IMU) devido a uma grande margem de erro do GPS, garantindo assim uma melhor precisão da posição (JORGE; INAMASU, 2014).

A navegação inercial, integrada com o GPS, se trata de um processo que serve para estimar, ao longo do tempo, a posição e velocidade de um veículo com relação a um sistema de referência (coordenadas). As medições são feitas por meio de uma INS (sigla do inglês para sistema de navegação inercial), composta por acelerômetros para medir forças lineares e giroscópios para medir a velocidade de rotação em torno de um eixo (MARQUES FILHO, 2011).

Com a integração GPS/INS tem-se a junção de dois sistemas de posicionamento que apresentam características de operação diferentes e complementares. O GPS precisa de sinais de satélites que podem sofrer interferências e suas medições têm erros aleatórios limitados ao longo do tempo e que podem ser determinados. Já o INS não depende de sinais externos, mas acumula erros de observação de forma contínua (erros sistemáticos dos sensores). Sendo assim, a finalidade principal desta integração é melhorar o desempenho final no posicionamento (SILVA; MORAIS, 2014).

Além da integração de uma unidade de medição inercial com um módulo de GPS, o controle de um VANT necessita de sensores ultrassônicos para detecção de obstáculos. A base de funcionamento do sonar se dá através de ondas ultrassônicas que são transmitidas pelo sensor, refletem em um determinado objeto e voltam ao sensor. Desta forma, com o tempo medido entre a saída da onda transmitida e o eco da onda refletida, é possível calcular a distância do objeto, conforme **Figura 3-12** (SILVA; MORAIS, 2014).

**Figura 3-12** – Funcionamento do sonar



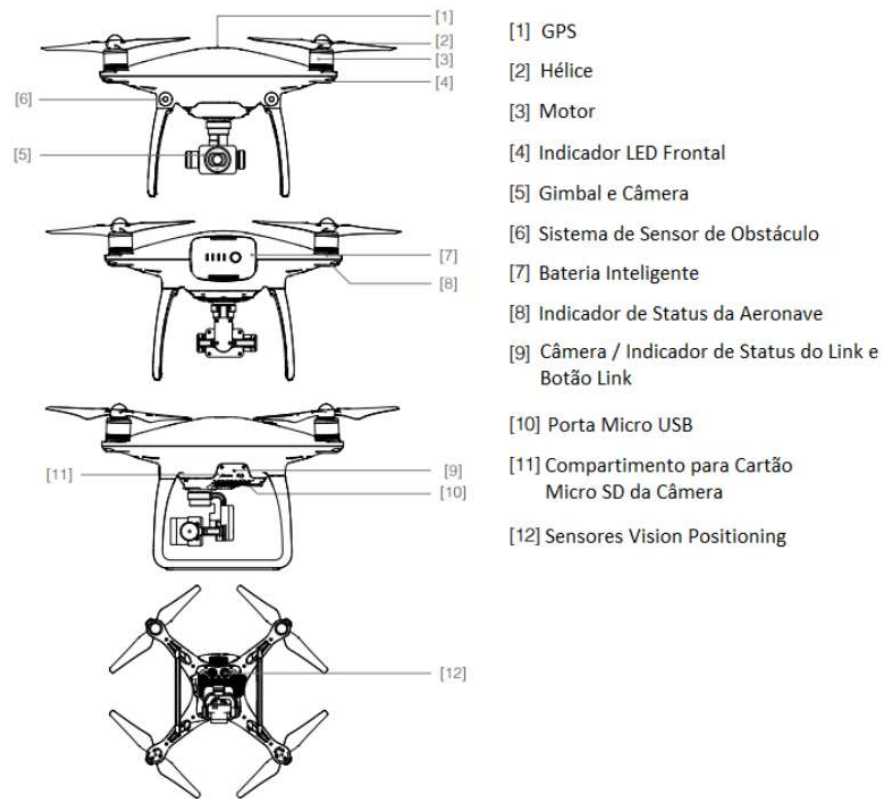
Fonte – (SILVA; MORAIS, 2014)

#### 3.4.5. DJI Phantom 4

O VANT Phantom 4, tecnologia desenvolvida pela empresa DJI, faz parte da série Phantom junto com os VANTS Phantom 4 PRO V2.0, Phantom 4 PRO, Phantom 4 Advanced e Phantom 3 SE. Pode chegar a uma velocidade de 20 m/s ou 72 km/h, possui tempo máximo de voo de aproximadamente 28 minutos, grava vídeos em 4K e captura fotografias com 12 megapixels (DJI,2017).

O modelo em questão, do tipo quadricóptero (quatro hélices), é composto de um controlador de voo, sistema *Vision Positioning* e bateria de voo inteligente (**Figura 3-13**). O controlador de voo inclui modos de segurança, como o *Failsafe* e *Return-to-Home*, que garantem um retorno seguro da aeronave em casos de perda de sinal do rádio. O Phantom 4 é equipado com um Sistema de Sensor de Obstáculos que procura por obstáculos na frente da aeronave, de modo a evitar colisões. Com a ajuda do *Vision Positioning*, o VANT pode pairar em um local mais preciso e voar em um ambiente sem sinal de GPS (DJI, 2017).

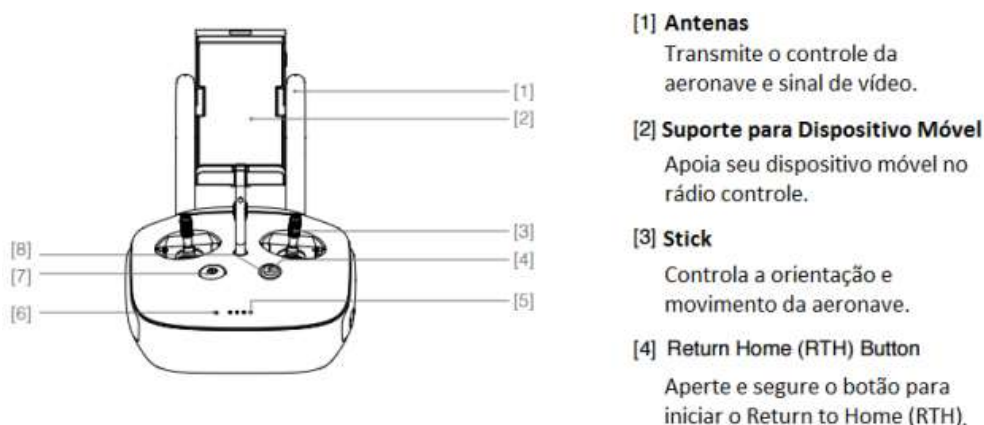
**Figura 3-13** – Diagrama do quadricóptero modelo DJI Phantom 4



Fonte – (DJI, 2017)

O quadricóptero DJI Phantom 4 é acionado e conduzido por um controle remoto, que se comunica com o VANT via sinal de rádio. É necessário que o controle remoto esteja ligado a um aparelho celular que possibilite o uso de aplicativos, como o Pix4D Capture e DroneDeploy, que permite a elaboração dos planos de voo. O diagrama do controle do VANT DJI Phantom 4 está representado na **Figura 3-14**.

**Figura 3-14** – Diagrama do controle da aeronave de modelo DJI Phantom 4



Fonte – (DJI, 2017)

### 3.5. Global Position System – GPS

#### 3.5.1. Definição e Objetivos

O *Global Positioning System* (GPS), utilizado inicialmente para operações militares e à navegação, é resumidamente um sistema de rádio navegação. Ele fornece as coordenadas bi ou tridimensionais de pontos no terreno, bem como a velocidade e a direção de deslocamento entre os pontos (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2003).

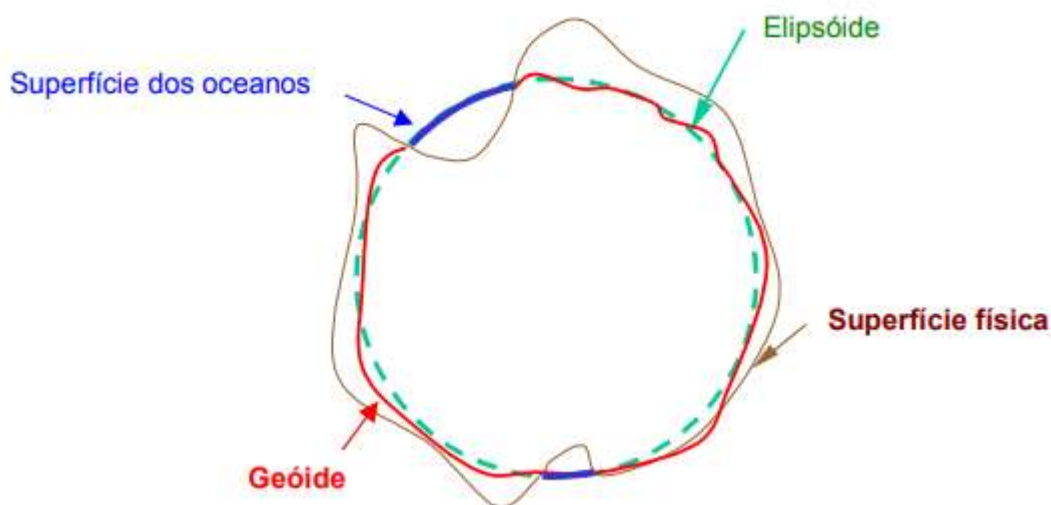
Este sistema tem como objetivo auxiliar nas atividades de navegação e realização de levantamentos geodésicos e topográficos. O GPS opera em qualquer condição meteorológica, em qualquer lugar do planeta, 24 horas por dia e sem cobrança de nenhum valor para uso de seu sinal (GOMES, 2010).

#### 3.5.2. Formas e Dimensões da Terra

A terra é vista no espaço em um formato esférico com leve achatamento nos polos. Devido a sua irregularidade, ela é representada por um elipsoide, uma figura regular, geometricamente modelada e que melhor se ajusta a forma do planeta (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2003).

Conforme a **Figura 3-15**, outra superfície a ser considerada é o geóide que coincide com a superfície dos oceanos estendendo-se de forma irregular através dos continentes, com o mesmo potencial gravitacional. No geóide, o vetor gravitacional é perpendicular à sua superfície (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2003).

**Figura 3-15** – Superfícies usadas na representação do formato da Terra



Fonte – (ALBUQUERQUE; SANTOS 2003)

Por se tratar de uma superfície facilmente modelada, o sistema GPS adota o elipsóide para desenvolver os cálculos necessários ao posicionamento e determinação das coordenadas. Este sistema utiliza o World Geodetic System 1984 (WGS-84) como sistema de referência (ALBUQUERQUE; SANTOS, 2003). Os sistemas de referência ou DATUM são usados para determinar as posições de objetos (GOMES, 2010).

No Brasil, atualmente, o sistema Geodésico adota como superfície de referência o SIRGAS2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) para os trabalhos mapeados no país, embora também sejam encontrados mapas e cartas do território brasileiro que utilizam o datum Córrego Alegre e SAD 69 (South American Datum 1969). O que diferencia estes modelos é a definição/orientação. No datum Córrego Alegre e no SAD 69, o ponto de origem e orientação está na superfície terrestre. Enquanto no SIRGAS2000 a definição/orientação é geocêntrica, ou seja, a origem dos seus três eixos cartesianos está localizada no centro de massa da Terra.

### 3.5.3. Funcionamento

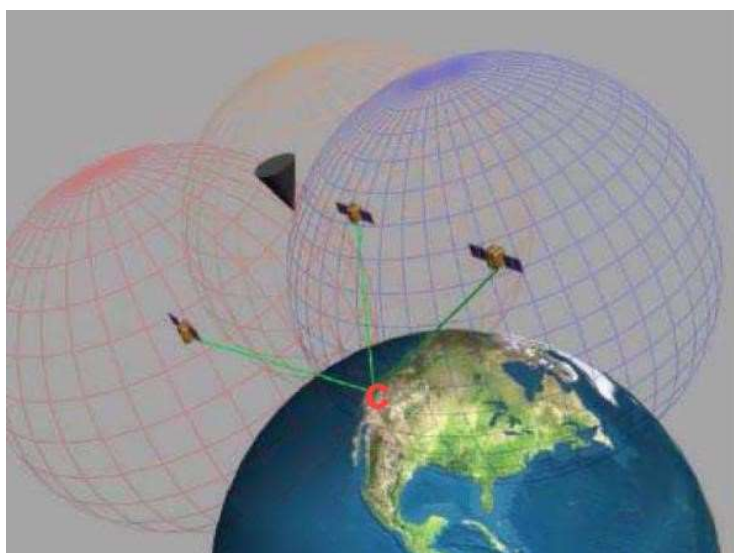
De acordo com Lima *et al.* (2006), o princípio básico de funcionamento da tecnologia do GPS está na trilateração que tem como premissa conhecer três posições fixas e a distância que cada uma está com relação a um mesmo ponto, cuja posição é desconhecida. O GPS



determina a posição, medindo a distância entre o aparelho receptor e os satélites. O receptor calcula o tempo que o sinal leva para percorrer a distância entre o satélite e o receptor. Sabendo-se as coordenadas dos satélites em um sistema de referência adequado, podem-se determinar as coordenadas do usuário.

Segundo Gomes (2010), conhecendo-se as distâncias entre o receptor e três pontos, pode-se determinar a posição relativa a esses mesmos três pontos através da interseção de três circunferências cujos raios são as distancias medidas entre o próprio receptor e os satélites (**Figura 3-16**).

**Figura 3-16** – Trilateração



Fonte – (MACHADO, 2019)

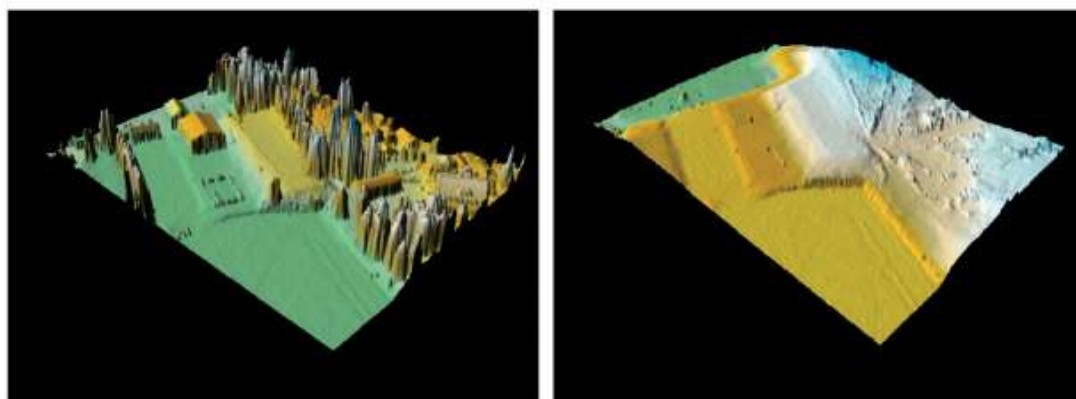
### **3.6. Modelo Digital de Superfície**

Segundo Cruz *et al.* (2012), tem-se observado, nos últimos anos, um significativo aumento de sensores que possibilitam a extração de informações tridimensionais. Além do desenvolvimento dos sensores, a disponibilidade de hardwares e softwares cada vez mais sofisticados facilita a geração de produtos cartográficos, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE) e de Superfície (MDS) (SANTOS *et. al.*, 2016).

Segundo Jensen (2009), o MDE é um modelo que contém pontos de elevação em uma área contínua e pode ser subdividido em Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais do Terreno (MDT). O MDS leva em consideração as elevações do terreno e de

qualquer objeto acima dele. Já o MDT possui informações de elevação da superfície do planeta sem a influência de vegetação e de outras estruturas (**Figura 3-17**).

**Figura 3-17** – Representação em 3D da mesma área mostrando a diferença entre o MDS (esquerda) e MDT (direita).



Fonte – (ASSUNÇÃO *et al.*, 2007)

Tem-se a disposição, atualmente, de diversos MDSs com abrangência global ou regional, garantindo uma diversidade de aplicações, dentre eles:

- SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission): missão com a finalidade de adquirir um MDE entre as latitudes 60°N a 56°S cobrindo, assim, 80% da superfície do planeta. A aquisição dos dados se deu a bordo do ônibus espacial Endeavour, realizado no mês de fevereiro de 2000, utilizando a técnica de interferometria de radar de abertura sintética (InSar). Nesta missão foram empregados dois conjuntos de radares de abertura sintética, um configurado para operar na banda C (5,6 cm, C radar), sob responsabilidade da *Jet Propulsion Laboratory* da NASA (JPL), e outro na banda X (3,1 cm, X radar) sob responsabilidade das agências espaciais da Alemanha (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt* - DLR, que resultaram em dados com resolução espacial de três arco segundos (~90 metros) e um arco segundo (~ 30 metros), respectivamente. O mapeamento topográfico pela interferometria SAR baseia-se na aquisição de dados a partir de dois ângulos de visada diferentes. O SRTM tinha uma antena banda C e banda X no compartimento de carga e outra antena banda C e banda X posicionada no final de uma haste de 60m. Como os dois radares e qualquer objeto formam um triângulo, é possível calcular a altura através de trigonometria (JENSEN; EIPHANIO, 2011; FARR *et. al.* 2007).

- ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model): geração de um MDS que englobou 99% da área continental do globo terrestre, da latitude 83°N a 83°S. Foi uma parceria entre o Ministério de Economia, Indústria e Comércio do Japão (METI) e a Agência Espacial Norte-Americana (NASA). O MDS produzido apresenta resolução espacial de um segundo de arco. (SANTOS *et. al.* 2016).
- TOPODATA: derivação do modelo SRTM, refinando a resolução de três arco de segundo para um arco de segundo, através da interpolação de Krigagem, o que favorece uma melhor percepção de feições relativamente detalhadas (SANTOS *et. al.* 2016).
- MDE ALOS/PALSAR SRTM: trata-se de MDE gerado a partir do MDE SRTM, sendo reamostrado de 30 para 12,5 metros e com altitude ortométrica dada pelo modelo geoidal EGM96 convertida para altitude elipsoidal WGS84. É utilizado pela *Alaska Satellite Facility* para correção das imagens do PALSAR (*Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar*), sensor que esteve a bordo do satélite ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) (ALASKA SATELLITE FACILITY, 2020; BARBOSA *et al.*, 2019).

Além destes produtos citados anteriormente, é possível gerar um MDS através de aerolevanteamento realizado por VANTs, que tem como vantagem elevada resolução espacial, o que permite uma visualização mais detalhada de certas relações que ocorrem na paisagem (ISIOYE; JOBIN, 2012). Outro fator de destaque se refere a resolução temporal das aeronaves que possibilita a escolha do período de repetição do levantamento, facilitando o acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (FIGUEIRA; OLIVEIRA, 2013).

### 3.7. Mapeamento Automático de Rede de Drenagem

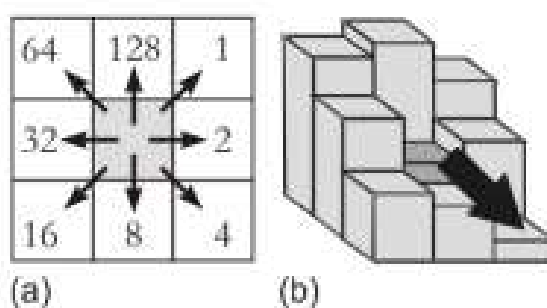
De modo geral, o mapeamento da rede de drenagem em softwares de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) a partir de um MDE envolve quatro etapas: identificação e preenchimento de depressões; obtenção de uma grade de direção de fluxo; obtenção de uma grade de fluxo acumulado; e a definição de um valor limite a grade de fluxo acumulado que irão determinar as células que irão compor a rede de drenagem. Cada uma dessas etapas tem sido objeto de estudos que tem como finalidade propor modificações nos algoritmos existentes ou mesmo apresentar novos métodos de análise (MORAIS; SALES, 2016).

As depressões existentes em um MDE consistem em uma célula ou um grupo de células espacialmente conectadas de mesma elevação que estão rodeadas por outras células em uma elevação superior. Podem ser entendidas como obstáculos ao escoamento superficial. Podem ser naturais, características reais da paisagem, ou estar associadas a falhas no processo de geração do MDE (JENSON; DOMINGUE, 1988; WANG; LIU, 2006).

O método mais utilizado para preenchimento de depressões nos SIGs foi desenvolvido por Jenson e Domingue (1988). Ele consiste no preenchimento de uma célula em depressão até o menor valor de elevação encontrado em uma das oito células vizinhas (WANG; LIU, 2006).

O método tradicional de obtenção da grade de direção de fluxo, conhecido como método D8, foi proposto por O'Callaghan e Mark (1984). Ele define, para uma dada célula ou elemento da matriz, um código de direção do fluxo que indica para qual das 8 células vizinhas o escoamento deverá seguir. A determinação da direção ocorre por um critério de maior declividade, dada pela diferença de altitudes dividida pela distância entre os centros das células (**Figura 3-18**). Jenson e Domingue (1988) aprimoraram o método proposto por O'Callaghan e Mark (1984) introduzindo critérios em casos em que mais de uma célula apresenta valores de declividade iguais em relação à célula de origem. Nesses casos, a direção do fluxo é atribuída segundo uma regra de desempate que procura o caminho central entre as candidatas empatadas.

**Figura 3-18** – (a) Codificação usada para distinguir as oito direções de fluxo possíveis no método D8, (b) Atribuição de direção de fluxo pela regra da maior declividade



Fonte – (BUARQUE *et al.* 2009)

Existem outros algoritmos de definição da direção do fluxo como é o caso dos métodos de direções múltiplas. Esses métodos admitem que o escoamento de uma célula possa se direcionar para mais de uma das oito células vizinhas. Surgiram com o objetivo de minimizar uma limitação do método D8, em que a consideração de apenas uma direção é uma simplificação da situação real, já que o fluxo gerado em uma determinada célula não segue concentrado para apenas uma das oito células vizinhas (BUARQUE *et al.*, 2009). Contudo, em termos de obtenção de rede de drenagem, a adoção de direções múltiplas não é adequada devido à perda de ligação única pixel a pixel e a geração de limites difusos (JONES, 2002).

A grade de fluxo acumulado é gerada a partir da grade de direção de fluxo. Cada célula da grade recebe um valor igual ao número de células que fluem para ela (JENSON; DOMINGUE, 1988). De acordo com Morais e Sales (2016), o valor de cada pixel pode ser entendido como a área de contribuição deste pixel, bastando, para isso, multiplicar seu valor por sua área.

O valor limite que definirá a origem da rede de drenagem tem sido alvo de várias pesquisas. De acordo com Ariza-Villaverde *et al.* (2015), a resolução espacial do MDE influencia na definição do limiar de acumulação de fluxo e conseqüentemente na morfologia da rede de drenagem. Para Fan *et al.* (2013), adotar apenas um valor limite para extração da rede de drenagem não é eficiente, especialmente em áreas que apresentam características físicas distintas. Os autores sugerem a adoção de limiares diferentes para cada região, com base em informações geológicas. Na busca de um limiar adequado, Jenson e Domingue (1988) usaram o método de tentativa e erro, onde são utilizados diferentes valores limites e as drenagens extraídas são comparadas com uma base fidedigna.

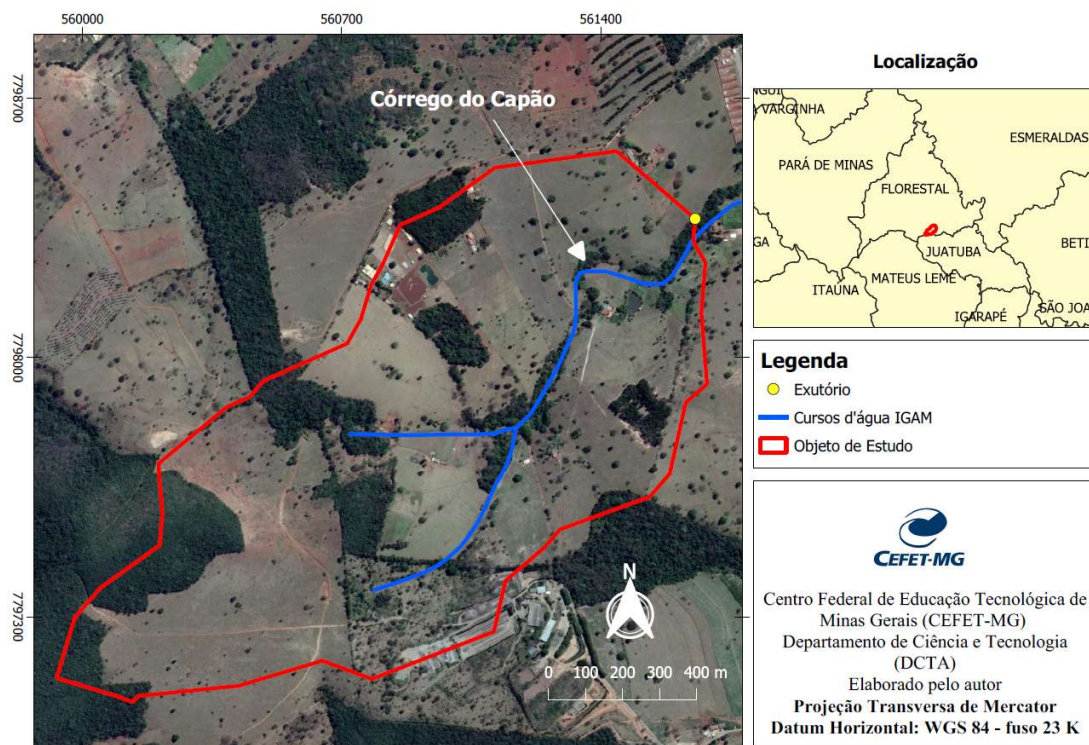
## 4 METODOLOGIA

### 4.1. Área de Estudo

O objeto de estudo se trata de uma microbacia que abrange imóveis rurais de terceiros, de aproximadamente 145 hectares, localizada nos municípios de Florestal e Juatuba, Região Metropolitana de Belo Horizonte, Minas Gerais, conforme **Figura 4-1**. Foi escolhida por ter um número representativo de cursos d'água e por se tratar de uma área rural conhecida pelo autor.

O processo de delimitação da área de estudo foi desenvolvido no SIG ArcGIS, juntamente com as extensões disponíveis (*Spatial Analyst* e *Hydrology Modeling*). Utilizou-se de imagens SRTM com resolução espacial de 30 metros obtidas junto ao *United States Geological Survey* (USGS) e de uma metodologia que se divide em quatro etapas: preenchimento de depressões (*fill*), direção de fluxo (*flow direction*), fluxo acumulado (*flow accumulation*) e delimitação de bacias (*Watershed*) (**Figura 4-1**) (DIAS *et al.*, 2004).

**Figura 4-1** – Mapa localização da área de estudo



Fonte – Elaborado pelo autor

## 4.2. Rede Hidrográfica do Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM)

A rede hidrográfica do IGAM foi obtida através do site da Infraestrutura de Dados Espaciais do Sistema Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (IDE-SISEMA). IDESISEMA foi instituída pela Conjunta SEMAD/FEAM/IEF/IGAM nº 2.466/2017 e tem como objetivo promover adequada geração, armazenamento e compartilhamento dos dados geoespaciais oriundos das atividades, programas e projetos ambientais e de recursos hídricos desenvolvidos pelo Sisema.

A rede hidrográfica do IGAM foi formada a partir de um conjunto de cartas topográficas vetorizadas no âmbito do Programa Integrado do Uso da Tecnologia de Geoprocessamento (GeoMINAS) pelos Órgãos do Estado de Minas Gerais. O GeoMINAS utilizou, como fonte de dados, o mapeamento aerofotogramétrico realizado pelo Ministério da Defesa e pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), na escala de 1:50000 (IGAM, 2012).

Realizou-se o download do arquivo, no formato *shapefile*, referente a rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio São Francisco. Os dados foram tratados no software SIG QGIS. O *shapefile* foi recortado baseado na delimitação da área de estudo, a partir da ferramenta *ExtractbyMask*, do *Arctoolbox*.

## 4.3. Levantamento de Campo

### 4.3.1. GPS

Para o mapeamento de pontos ao longo dos cursos d'água, utilizou-se o GPS Garmin 76MAP CSX, conforme **Figura 4-2**. Segundo fabricante, o GPS Garmin 76MAP CSX possui uma precisão planimétrica da ordem de 10 metros e a precisão da altitude, utilizando o altímetro calibrado, de aproximadamente 3 metros (GARRASTAZU *et al.*, 2011).

**Figura 4-2** – GPS Garmin 76CSx



Fonte – (GARRASTAZU *et al.*, 2011).

Para otimizar o processo, determinou-se, através de imagens de satélites, pontos de fácil acesso e que são importantes na delimitação dos cursos d'água, como, nascentes, trechos de rio cortado por estrada e confluências. Além disso, o levantamento de campo foi realizado com o acompanhamento de um dos proprietários rurais da região, o que permitiu acesso rápido e direcionado às áreas de interesse.

#### 4.3.2. VANT

Para o levantamento aerofotogramétrico, utilizou-se o VANT DJI Phantom 4 (**Figura 4-3**). Implantou-se 5 pontos de controle ao longo da área de estudo. Foram confeccionados com CAL, formando um “X”, conforme **Figura 4-4**. Os pontos de controle são marcações feitas no solo que irão aparecer nas imagens aéreas para relacionar o sistema de coordenadas da imagem com o do terreno. No processamento das imagens, essas coordenadas são posicionadas no centro do “X”, com o objetivo de realizar o georreferenciamento das imagens obtidas e melhorar a precisão do produto final gerado. Coletou-se as coordenadas desses pontos com o auxílio do GPS de navegação GARMIN, modelo GPSMAP 76CSx (**Tabela 4-1**).



**Figura 4-3** – DJI Phantom 4

Fonte – Acervo do autor

**Tabela 4-1** – Coordenadas do Ponto de Controle, Datum SIRGAS 2000, Fuso 23 Sul

<b>PONTO</b>	<b>NORTE</b>	<b>LESTE</b>
<b>P1</b>	7798132,498	561033,953
<b>P3</b>	7797538,482	561244,131
<b>P6</b>	7798462,818	561514,838
<b>P8</b>	7798307,483	561101,432
<b>P10</b>	7797860,693	561405,16

Fonte – Elaborado pelo autor

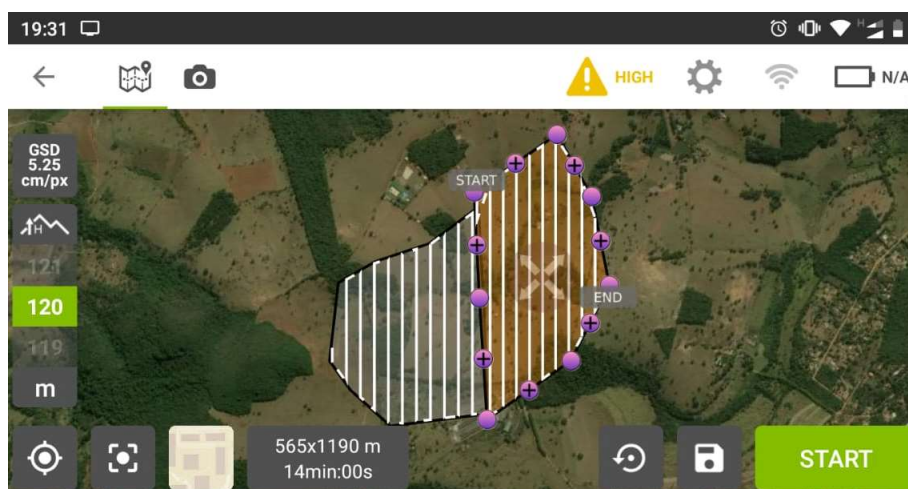
**Figura 4-4** – Exemplo de ponto de controle



Fonte – Acervo do autor

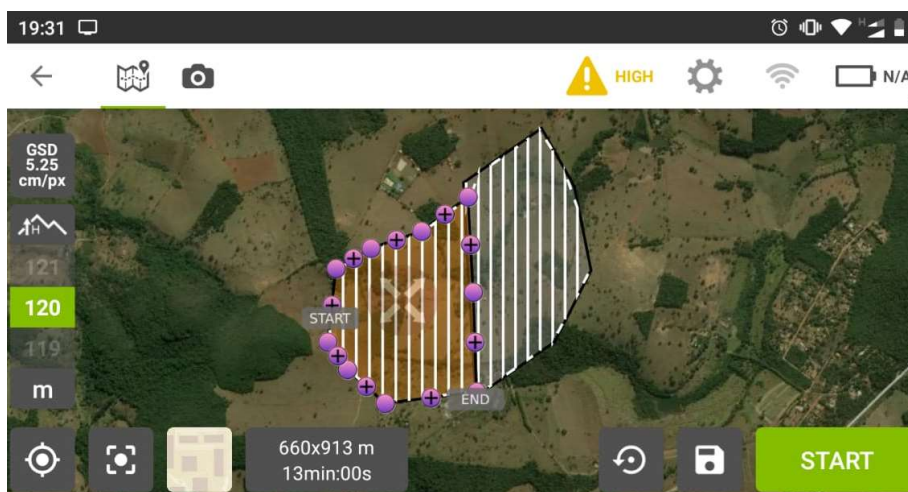
O planejamento de voo foi realizado no aplicativo *Pix4D capture*, desenvolvido pela empresa sueca Pix4D, disponível para sistema IOS e Android. Esse *software* permite o usuário planejar o voo, tendo em vista as seguintes informações: altitude do voo, velocidade, tempo de voo, sobreposição das imagens, entre outros parâmetros (PIX4D, 2019). Realizou-se dois planos de voo de forma a abranger a rede hidrográfica presente na área de estudo (**Figura 4-5** e **Figura 4-6**). Na **Figura 4-7**, são apresentados os parâmetros básicos utilizados para cada plano de voo.

**Figura 4-5 – Plano de voo um**



Fonte – Acervo do autor

**Figura 4-6 – Plano de voo dois**



Fonte – Acervo do autor

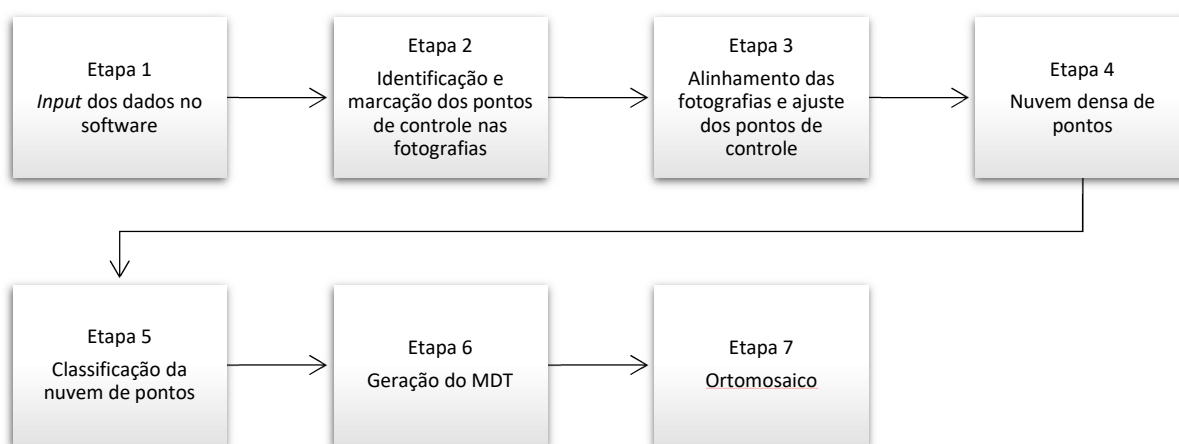
**Figura 4-7 – Quadro de parâmetros básicos dos planejamentos de voo um e voo dois**

Parâmetro	Voo um	Voo dois
Velocidade	10 m/s	10 m/s
Tempo de voo	14 min	13 min
Altitude	120 m	120 m
Recobrimento Lateral	80%	80%
Recobrimento Longitudinal	80%	80%
Percurso	565 x 1190 m	660 x 913 m

Fonte – Acervo do autor

As imagens foram processadas utilizando o *software Agisoft PhotoScan*. É um programa para processamento fotogramétrico, adaptado para processar imagens obtidas por meio de VANT (AGISOFT, 2020). O processamento foi realizado em sete etapas (**Figura 4-8**).

**Figura 4-8** – Passos realizados com as fotografias aéreas

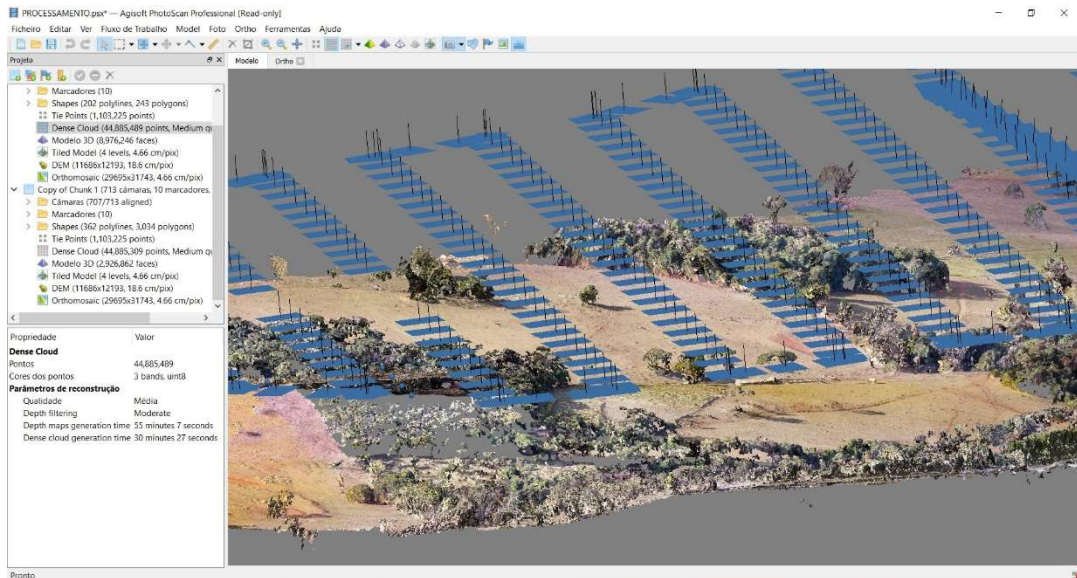


Fonte – Acervo do autor

A etapa um consiste em adicionar as fotografias obtidas pelo aerolevanteamento. As fotos são inseridas no software de acordo com a posição geográfica obtida pelo GPS integrado.

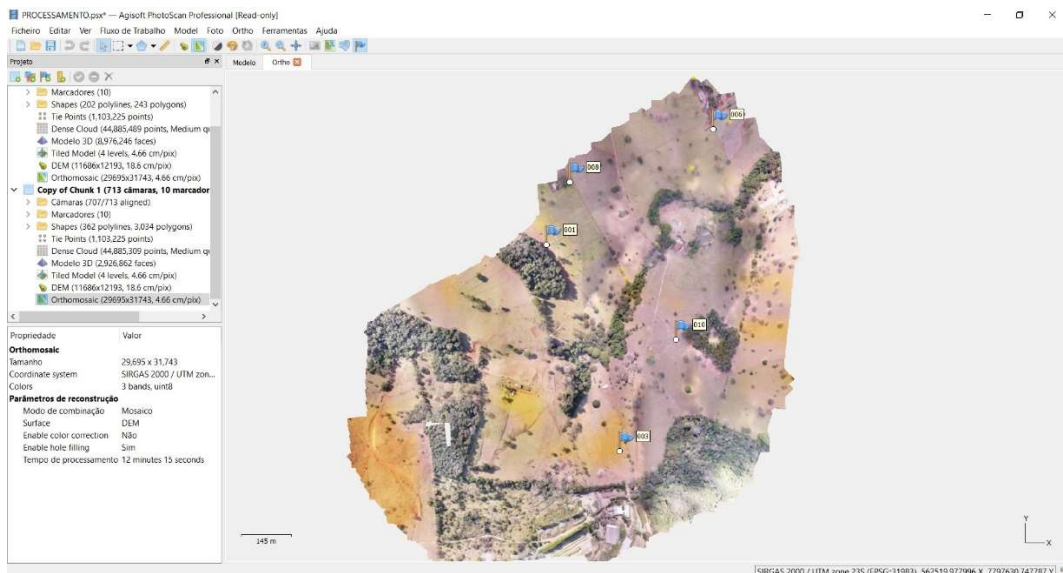
A etapa dois baseia-se na inserção, identificação e marcação dos pontos de controle nas fotografias. Na etapa três, o algoritmo reconhece pontos em comum nas fotografias e realiza o ajuste das coordenadas a partir dos pontos de controle, onde insere-se as coordenadas captadas pelo GPS Garmin76CSx. Posteriormente, gera-se uma nuvem de pontos homólogos. A **Figura 4-9** mostra a forma com que as fotografias estão posicionadas no momento da tomada das fotografias. Cada retângulo azul representa uma fotografia e sua posição (**Figura 4-10**).

**Figura 4-9 – Alinhamento das fotografias**



Fonte – Acervo do autor

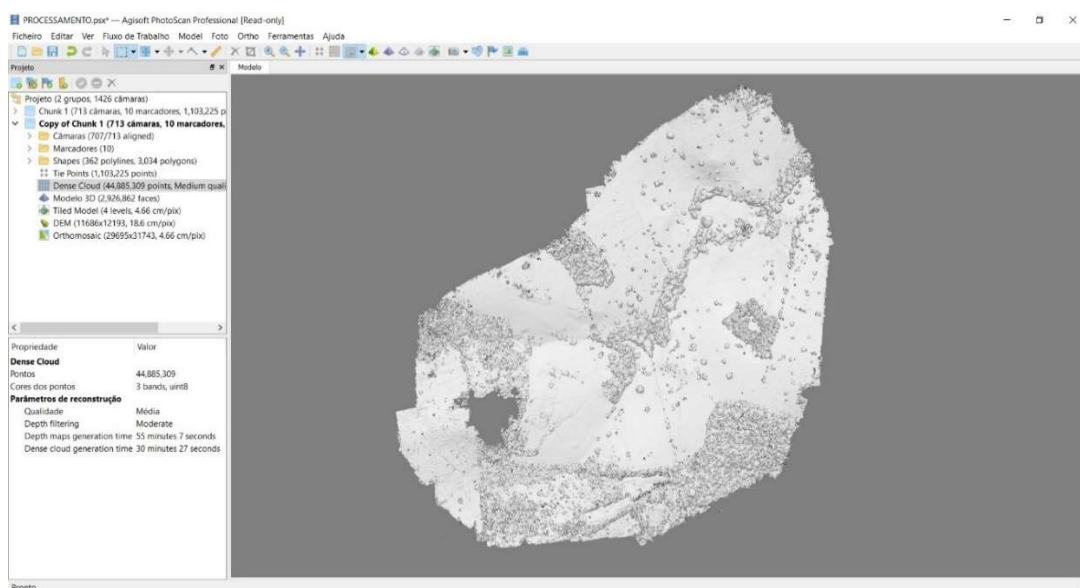
**Figura 4-10 – Ajuste dos pontos de controle**



Fonte – Acervo do autor

Na etapa quatro, realizou-se a construção da nuvem densa de pontos através da nuvem de pontos gerada na etapa três, de forma a preencher os espaços deixados (**Figura 4-11**).

**Figura 4-11** – Nuvem densa de pontos



Fonte – Acervo do autor

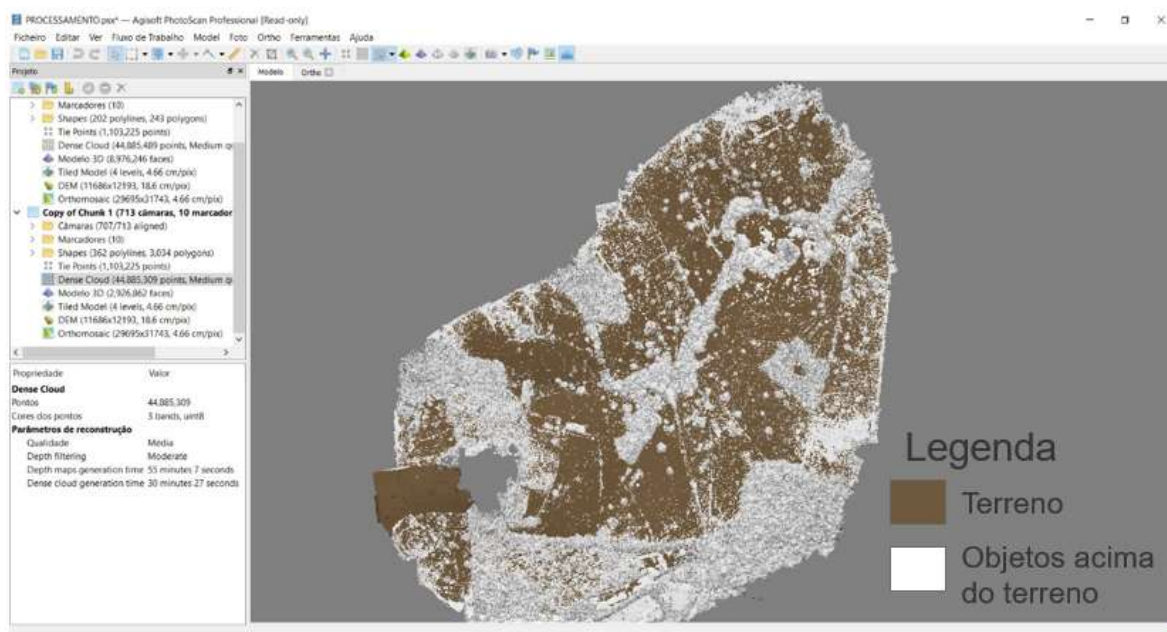
Na etapa cinco, classificou-se a nuvem densa de pontos, de forma a obter os pontos referentes ao terreno, desconsiderando, por exemplo, edificações e copas de árvores (**Figura 4-12**). A cor marrom representa o terreno e a cor branca os objetos acima do terreno. O método de classificação utilizado foi o supervisionado MaxVer. De acordo com Franquitto (2019), o classificador de Máxima verossimilhança faz o cálculo da probabilidade de um pixel pertencer a uma determinada classe. Para a classificação, selecionou-se uma base amostral para treinamento contendo pixels representativos de padrões ou feições do terreno.

Na etapa seis, o modelo 3D foi gerado, a partir do produto da etapa anterior. De acordo com Remondino *et al.*, (2011), a área de estudo deve ser imageada com no mínimo dois ângulos de visada diferentes, o que possibilita a modelagem tridimensional por meio de estereoscopia digital.

Após a classificação, o que era MDE passa a ser MDT, pois os objetos que estavam na cena foram retirados. Na etapa sete, elaborou-se a ortofoto, estabelecendo o datum (SIRGAS2000). A ortorretificação se refere a uma correção da imagem, pixel a pixel, com relação a distorção topográfica. Assim toda a imagem parece ser adquirida com visão de topo,

ou seja, a imagem fica em uma projeção ortogonal (SCHOWENGERDT (1997) apud BARROS et al, 2005)<sup>7</sup>.

**Figura 4-12** – Nuvem de pontos classificada



Fonte – Acervo do autor

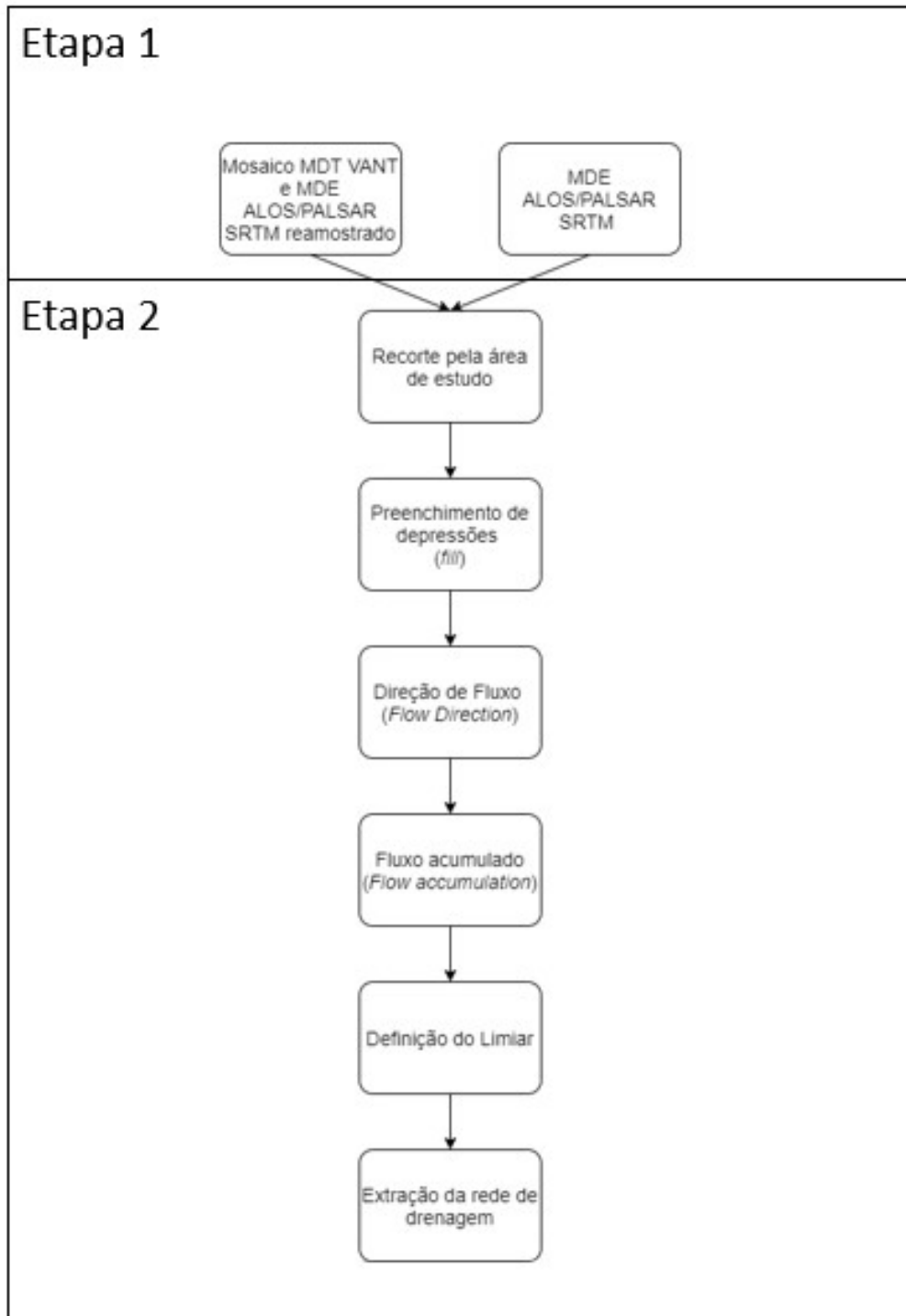
#### 4.4. Mapeamento da rede de drenagem

Realizou-se o mapeamento manual da rede de drenagem através de pontos coletados pelo GPS Garmin76MAP CSX, ao longo do curso d'água, e fotointerpretação das imagens obtidas pelo VANT.

A metodologia utilizada no processo de delimitação automática da rede de drenagem dividiu-se em duas etapas. A primeira etapa corresponde a obtenção e preparação das bases de dados e a segunda representa, de fato, os passos a serem seguidos para extração da rede hidrográfica. Utilizou-se de duas bases nesse processo, sendo elas: o MDT obtido através do voo com VANT e o MDE ALOS/PALSAR SRTM (**Figura 4-13**).

<sup>7</sup> SCHOWENGERDT, R. A. (1997). Remote Sensing, Models and Methods for Image Processing. Second Edition. Academic Press.

**Figura 4-13** – Fluxograma das etapas para a extração da rede de drenagem a partir de diferentes MDEs



Fonte – Elaborado pelo autor



Uma das bases de dados utilizada no estudo trata-se de um mosaico entre o MDT VANT e o MDE ALOS/PALSAR SRTM reamostrado. Não foi possível sobrevoar toda a área de estudo devido à falta de acesso ao local. Sendo assim, realizou-se uma reamostragem de pixel, do MDE ALOS/PALSAR SRTM, de 12,5 metros para 0,18640499 metros (resolução espacial do MDT VANT). Este procedimento foi necessário para que se pudesse fazer a junção das imagens, de forma a preencher toda a área de estudo. Nos pixels de sobreposição, considerou-se os valores do MDT VANT.

Ambas as bases seguiram para a segunda etapa. Essa etapa foi desenvolvida no SIG ArcGIS juntamente com as extensões (“plugins”) disponíveis no endereço eletrônico da Environmental Systems Research Institute (ESRI): Spatial Analyst e Hydrology Modeling.

Optou-se por adotar um valor padrão para definição da rede de drenagem a partir da grade de fluxo acumulado (limiar  $\geq 2100$ ). Considerando que o MDE ALOS/PALSAR SRTM possui resolução espacial de 12,5 metros, a adoção deste valor corresponde a uma área de 330.000 m<sup>2</sup>, que deve ser interpretado como a área de escoamento necessária para dar origem ao canal de drenagem.

Outros valores foram testados (1000 e 1700) para verificar qual desses limiares apresentou maior correspondência visual com a rede de drenagem de referência do IGAM. Além disso, seguindo a metodologia utilizada por Correa *et al.* (2017), calculou-se dois índices morfométricos, extensão total dos canais e densidade de drenagem, com o intuito de verificar qual desses limiares obteve os valores mais próximos quando comparado com a rede de drenagem de referência (IGAM). A densidade de drenagem foi obtida através da divisão entre a extensão total de canais e a área da bacia hidrográfica estudada.

A partir da definição do melhor limiar para delimitação da rede hidrográfica do MDE ALOS/PALSAR SRTM e da área do pixel do MDT VANT, descobriu-se o limiar adequado para o mosaico.

Para avaliar qual a base de dados mais se aproximou da rede de drenagem do IGAM, foi aplicado o método *Percentage Within Buffer* (PWB), utilizado no trabalho de Bezerra *et al.* (2019). Realizou-se buffer de 12,5 metros em cada rede de drenagem gerada.

Seguindo abordagem de Zhou e Chen (2011) <sup>8</sup>apud Bezerra *et al.* (2019), adotou-se o tamanho dos *buffers* como sendo o tamanho do pixel do MDE de menor resolução. Com a geração dos buffers, foi feito o procedimento de intersecção para determinar o quanto que o traçado da rede do IGAM coincide com os demais traçados gerados.

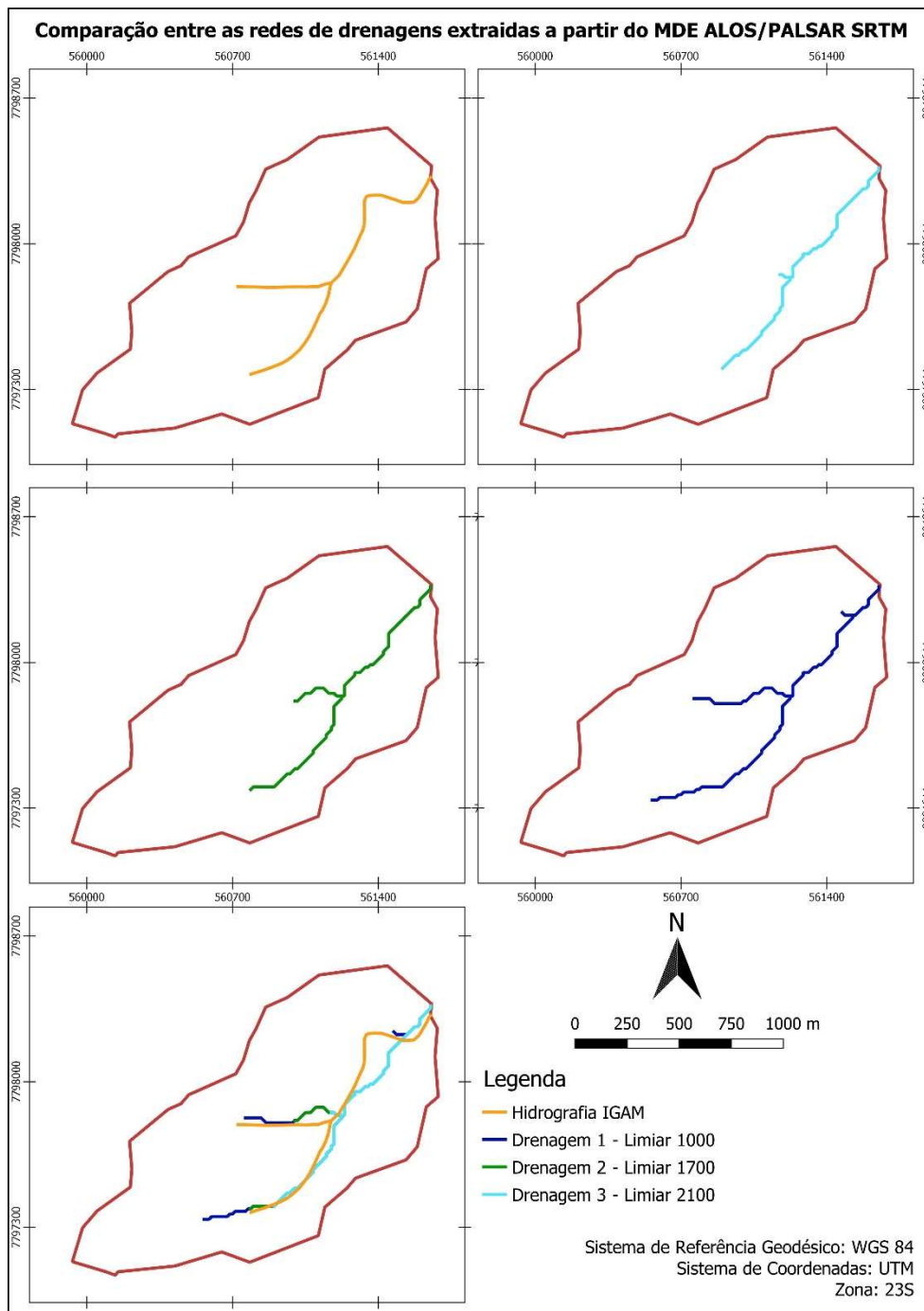
---

<sup>8</sup> ZHOU, Q., AND Y. CHEN (2011), Generalization of DEM for terrain analysis using a compound method, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 66(1), 38–45.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Figura 5-1** retrata três redes de drenagem extraídas do MDE ALOS/PALSAR SRTM a partir de diferentes limiares. A Drenagem um, dois e três representam, respectivamente, os limiares 1000, 1700 e 2100.

**Figura 5-1** – Comparação entre as drenagens extraídas do MDE ALOS/PALSAR SRTM a partir de diferentes limiares



Fonte – Elaborado pelo autor

Assim, como discutido por Correa et al. (2017), a análise dos índices morfométricos (extensão total de canais e densidade de drenagem), junto com a análise visual, indica que o traçado da rede de drenagem é influenciado pelo valor de limiar de fluxo acumulado utilizado (**Tabela 5-1**). Percebe-se uma maior quantidade de canais e o aumento da extensão dos canais na direção de suas cabeceiras, nas redes geradas com menores limiares o que consequentemente produz uma maior densidade da rede de drenagem. No sentido contrário, a utilização de maiores limiares, reduz a quantidade de canais, bem como a sua extensão (**Figura 5-1 e Tabela 5-1**).

**Tabela 5-1** – Indicadores morfométricos das redes de drenagem extraídas a partir do MDE ALOS/PALSAR SRTM, para diferentes limiares de fluxo acumulado, e da rede de drenagem do IGAM

Fontes da rede de drenagem	Limiar de fluxo acumulado	Extensão total dos canais (m)	Densidade de drenagem (m/m <sup>2</sup> )
MDE ALOS/PALSAR SRTM	1000	2278	0,0016
	<b>1700</b>	<b>1716</b>	<b>0,0012</b>
	2100	1387	0,0010
IGAM	-	1916	0,0013

Fonte – Elaborado pelo autor

A drenagem dois (limiar 1700) foi a que apresentou maior correspondência visual com drenagem de referência do IGAM. Além disso, verificou-se que ela obteve os valores de densidade de drenagem e extensão total dos canais que mais se aproximaram da base hidrográfica de referência.

Bezerra *et al.* (2019) observaram que a densidade de drenagem tem relação com o valor de limiar de fluxo acumulado e a área do tamanho do pixel. Sendo assim uma analogia pode ser definida de acordo com a Equação 1.

Com o objetivo de se ter o valor limiar, utilizou-se Equação 1, desenvolvida por Bezerra *et al.* (2019), para extração da rede de drenagem do MDT VANT.

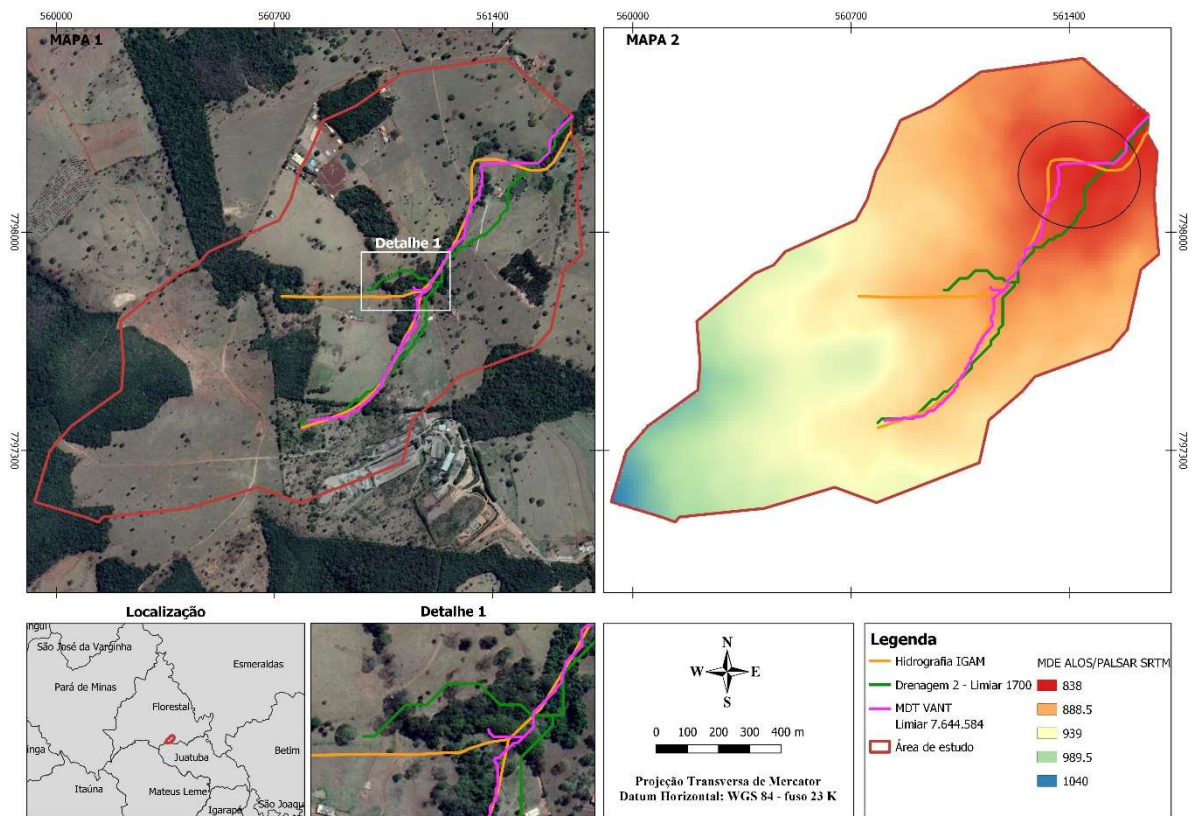
$$VMAF = \frac{Ap_{RB} \times VMAF_{RB}}{Ap_{AR}} \quad (1)$$

$VMAF_{RB}$  o valor mínimo de acumulação de fluxos do MDE com resolução mais baixa (MDE ALOS/PALSAR SRTM), nesse estudo foi adotado como 1700;

$A_{pAR}$  área do pixel do MDE de alta resolução (MDT VANT), 0,18640499 ao quadrado;  
 $VMAF$  o valor mínimo de acumulação de fluxos do MDE;  
 $A_{pRB}$  área do pixel do MDE de resolução mais baixa, 12,5 ao quadrado.

Ao aplicar a Equação 1, foi obtido um valor  $VMAF$  igual a 7.644.584. Esse alto valor de limiar, muito diferente de 1700, se deve pelo tamanho do pixel do MDT VANT (**Figura 5-2**).

**Figura 5-2 – Vetorização automática VANT**

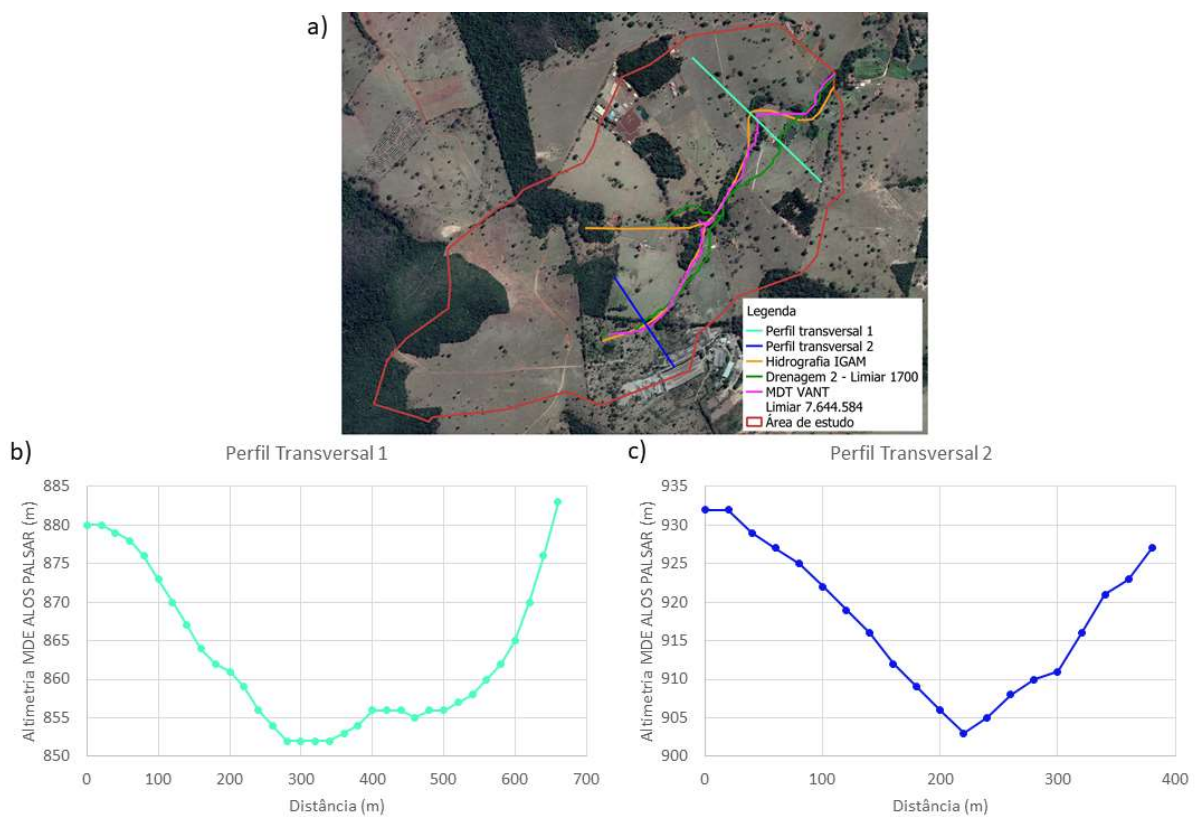


Fonte – Elaborado pelo autor

Nota-se diferenças entre as redes de drenagem na região destacada por um círculo. De acordo com os dados do MDE ALOS/PALSAR SRTM, mapa 2, trata-se de uma área de relevo mais plano, quando comparada com outras regiões da microbacia. Segundo Moraes e Sales (2016), observa-se baixo desempenho dos algoritmos para extração de drenagem em área de relevo plano e bom desempenho em áreas com declividade acentuada onde os canais de drenagem são mais encaixados (**Figura 5-2**).

Ao considerar-se uma mesma distância, a região mais plana, representada pelo perfil transversal 1, apresenta pequenas variações de altitude quando se comparada com a região de maior declive, representada pelo perfil transversal 2. No perfil transversal 1, entre 200 e 400 metros, a variação altimétrica é de nove metros, enquanto que no perfil transversal 2, entre 100 e 300 metros, a variação altimétrica é de 19 metros (**Figura 5-3**).

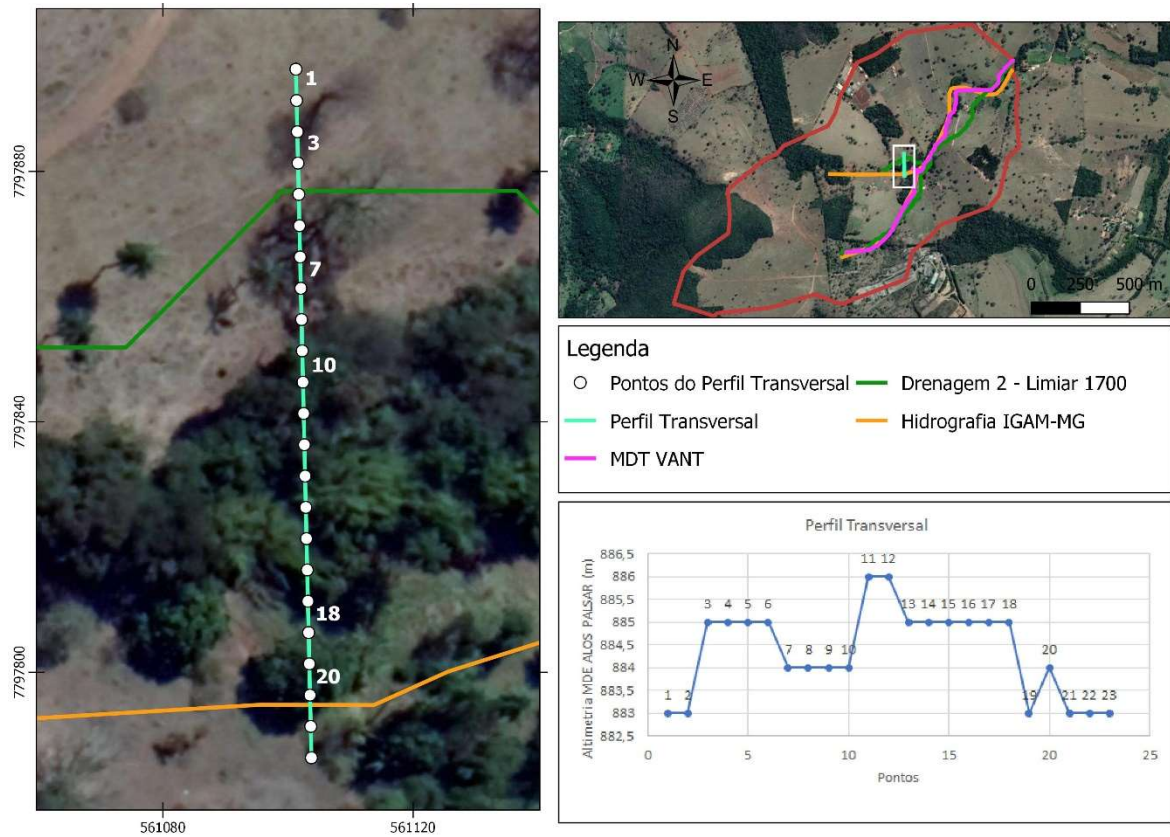
**Figura 5-3** – (a) Mapa de localização dos perfis transversais, (b) perfil transversal 1, (c) perfil transversal 2.



Fonte – Elaborado pelo autor

Conforme **Figura 5-2**, percebe-se, também, um desvio da Drenagem dois. Esse desvio pode ser explicado devido à copa das árvores (Detalhe um). Como o MDE ALOS/PALSAR SRTM opera na banda X (~3 cm de comprimento de onda) a energia é refletida pelo dossel das árvores, o que pode gerar interferências no modelo tridimensional (JENSEN; EPIPHANIO, 2011). A **Figura 5-4** mostra essas interferências. Observa-se um aumento da altitude, nos pontos 3, 11 e 20, devido a presença da copa das árvores ao longo do perfil transversal.

**Figura 5-4 – Perfil Transversal**

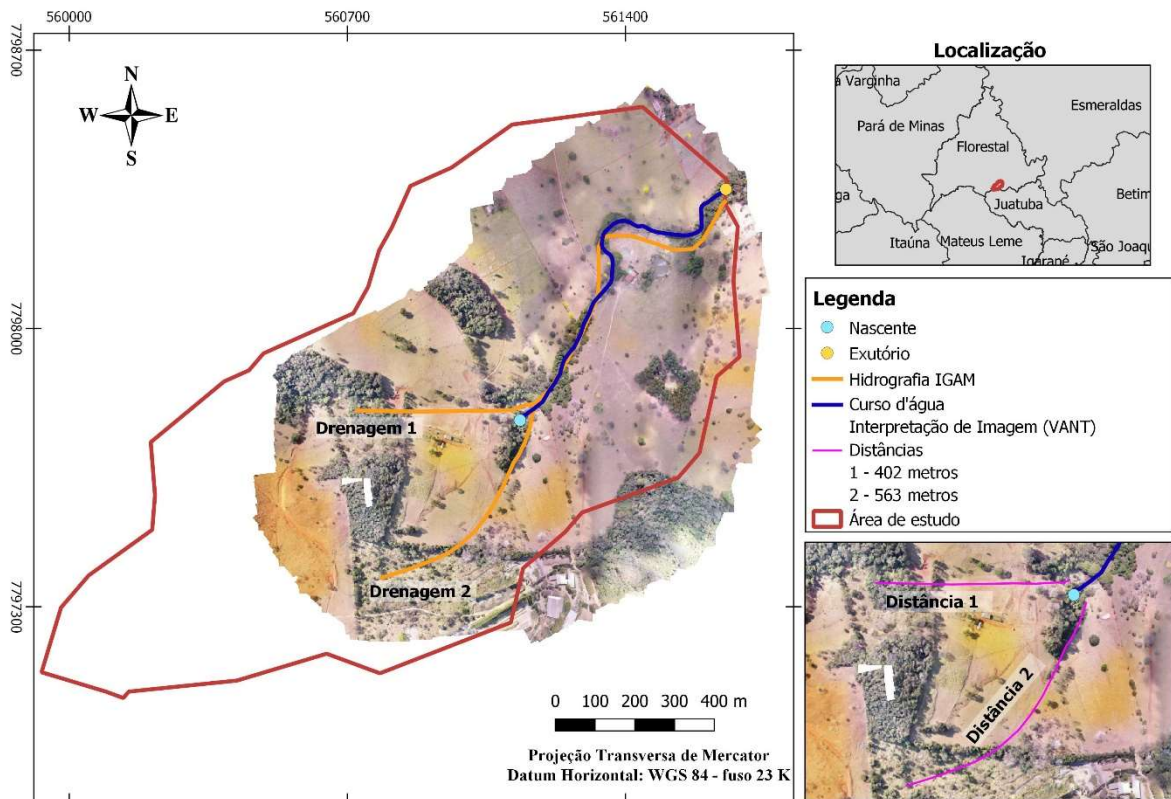


Fonte – Elaborado pelo autor

A radiação eletromagnética emitida na banda X reflete no dossel da vegetação e permite, por interferometria, obter o modelo digital da superfície da vegetação (MDS). Se o MDE em questão fosse gerado a partir de um sensor que opera na banda P, por exemplo, que possui um maior comprimento de onda, seria possível obter a altimetria do relevo (MDT) independentemente da existência de cobertura vegetal (GABOARDI; LÜBECK, 2017).

Além disso, realizou-se a vetorização manual do curso d'água a partir da interpretação visual da imagem obtida pelo VANT com resolução espacial de aproximadamente cinco centímetros. A vetorização iniciou-se na coordenada correspondente a uma nascente encontrada no trabalho de campo, no dia 25/08/2019, conforme **Figura 5-5**.

**Figura 5-5 – Vetorização manual**



Fonte – Elaborado pelo autor

Na vistoria in loco, percebeu-se a presença de água apenas a jusante da nascente mapeada. Sendo assim, infere-se que as drenagens um e dois da hidrografia do IGAM tratam-se, atualmente, de canais de drenagem intermitentes. Define-se, canal de drenagem intermitente, como sendo aquele cujo fluxo de água se mantém durante a estação chuvosa e, durante os períodos de seca, esse fluxo cessa (LEOPOLD E MILLER, 1956 apud LIMA; CUNHA, 2014)<sup>9</sup> (Figura 5-5).

Ainda na Figura 5-5, nota-se que as nascentes um e dois (IGAM) encontram-se distantes 402 e 563 metros, respectivamente, para o ponto onde se encontrou a nascente atual mapeada via GPS. Segundo Felipe e Magalhães Junior (2015), as nascentes podem se mover de acordo com as oscilações do nível freático ao longo do ano hidrológico. As nascentes alimentadas por aquíferos livres tendem, no período de estiagem, a sofrer influência do

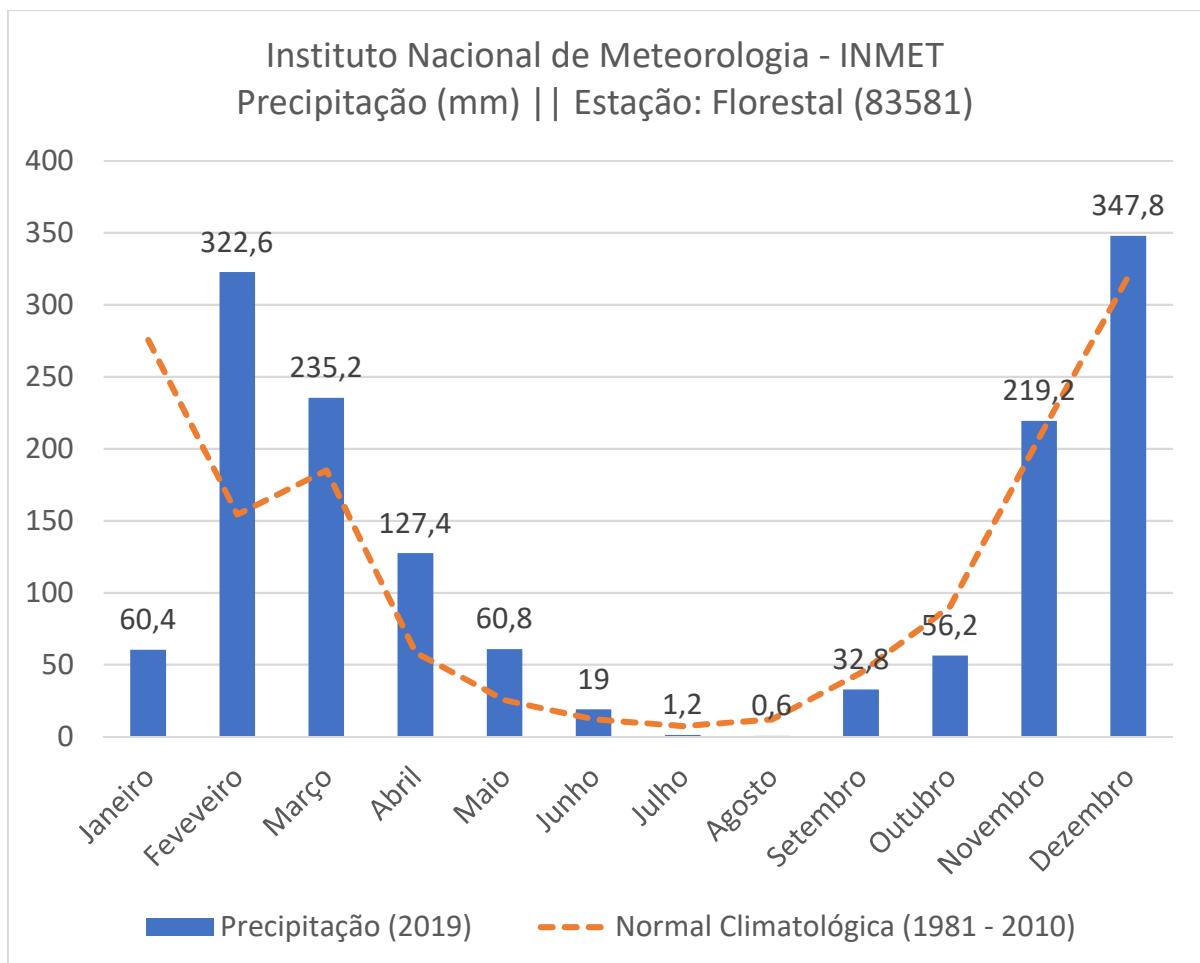
<sup>9</sup> LEOPOLD, L. B.; MILLER, J.P. **Ephemeral Streams: Hydraulic Factors and Their Relation to Drainage Net**. Professional Paper 282-A. Washington: U.S. Geological Survey, 1956



rebaixamento do nível freático, o que leva a interrupção do contato entre a superfície topográfica e o nível freático, promovendo a intermitência da exfiltração. Em outros contextos, o rebaixamento gradual pode levar a mudança do local onde acontece esse contato, fazendo com que o processo de exfiltração se altere conforme a dinâmica do nível freático. Por exemplo uma das nascentes analisada por Felipe e Magalhães Junior (2015) registrou um gradativo deslocamento para jusante até o máximo de 1,4 quilômetros em julho.

A **Figura 5-6** retrata os valores de precipitação ao longo do ano de 2019 e a normal climatológica, obtida pelo cálculo das médias de precipitação entre os anos de 1981 e 2010, da estação INMET de Florestal/MG (83581). Como o levantamento de campo foi realizado no mês de agosto, final do período de estiagem, é possível inferir que houve uma alteração do local de exfiltração das nascentes, haja visto que a precipitação registrada em 2019, na estação INMET de Florestal/MG (83581), foi menor que a normal climatológica neste ponto.

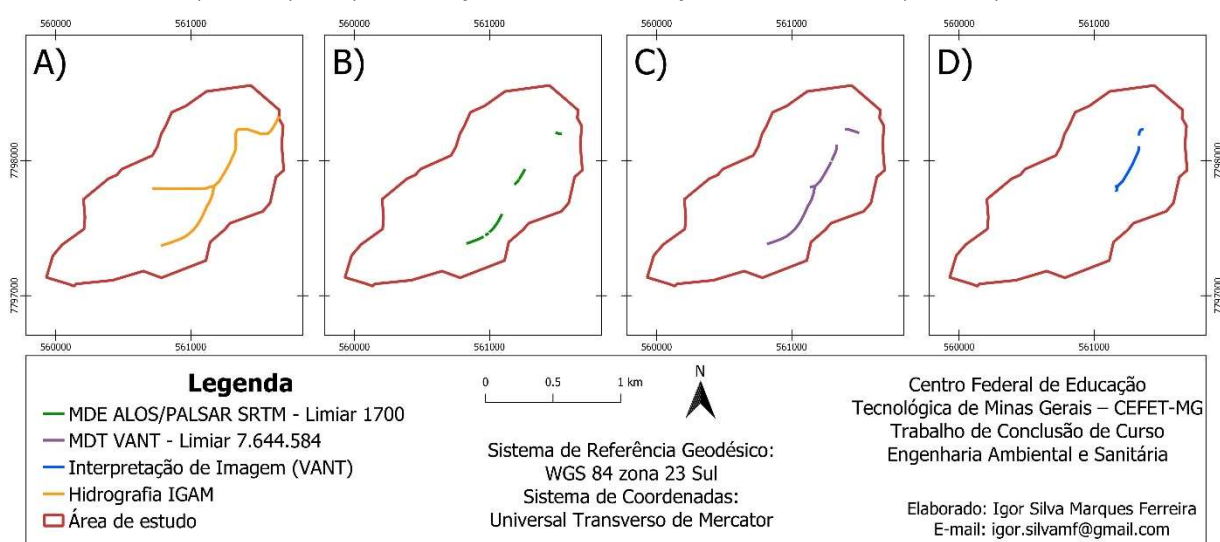
**Figura 5-6** – Gráfico de Precipitação



Fonte – (INMET, 2020)

A seguir, é apresentada a **Figura 5-7** que mostra as intersecções dos buffers das redes de drenagem dos MDE/MDT com a rede de drenagem do IGAM. Indicando que onde a rede de drenagem é contínua (**Figura 5-7B**, **Figura 5-7C** e **Figura 5-7D**) é porque a delimitação da rede de drenagem dos MDE/MDT coincidiu com a rede de referência (IGAM).

**Figura 5-7** – Intersecção entre a rede de drenagem do IGAM e as extrações de drenagem obtidas com os sensores analisados. A) Base Hidrográfica Ottocodificada do IGAM; B) Intersecção MDE ALOS/PALSAR SRTM; C) Intersecção VETORIZAÇÃO AUTOMÁTICA (VANT) e D) Intersecção VETORIZAÇÃO MANUAL (VANT)



Fonte – Elaborado pelo autor

A **Tabela 5-2** mostra o comprimento total da rede de drenagem do IGAM e das intersecções das respectivas bases, bem como o percentual de cada uma em relação a rede de referência (IGAM).

**Tabela 5-2** – Comprimento total da rede de drenagem do IGAM e das intersecções das respectivas bases, bem como o percentual de cada uma em relação a rede do IGAM.

	<b>IGAM</b>	<b>VETORIZAÇÃO AUTOMÁTICA (VANT)</b>	<b>VETORIZAÇÃO MANUAL (VANT)</b>	<b>MDE ALOS/PALSAR SRTM</b>
<b>Comprimento Total (m)</b>	1916,18	1015,37	421,47	398,66
<b>Percentual (%)</b>	100	<b>52,99</b>	22,00	20,80

Fonte – Elaborado pelo autor

As redes de drenagens adquiridas a partir da vetorização automática (VANT), vetorização manual (VANT) e MDE ALOS/PALSAR SRTM obtiveram correspondência com a

hidrografia do IGAM de 52,99%, 22,00% e 20,80%, respectivamente. Observa-se que a vetorização automática (VANT) foi a que mais se aproximou da hidrografia do IGAM.

Outro fator de destaque a ser apontado, uma possível explicação da menor correspondência do MDE ALOS/PALSAR SRTM, refere-se as precisões planimétricas e altimétricas do produto. Ele possui erro circular absoluto na geolocalização < 20 metros e relativo < 15 metros, e erro vertical absoluto nas alturas < 16 metros e relativo < 10 metros. O erro na altura relativa dos dados da banda X é menor que seis metros (FARR *et al.*, 2007).

Destaca-se, também, o fato de o MDT VANT ter sido georreferenciado a partir de dados adquiridos por meio do GPS Garmin 76MAP CSX. Esse GPS portátil possui uma precisão planimétrica de 10 metros, o que pode ter influenciado no percentual de correspondência da vetorização automática (VANT) (GARRASTAZU *et al.*, 2011).

Morais e Sales (2016) realizaram uma análise comparativa da drenagem extraída a partir de três bases de dados (SRTM, ALOS WORD 3D, ASTER GDEM), todos com 30 metros de resolução, utilizando-se de duas ferramentas de análise hidrológica (*Hidrology* e *TauDEM*) executados com o SIG ArcGIS. A drenagem extraída do ALOS WORD 3D (AW3D) apresentou maior correspondência com a drenagem original, constituindo-se melhor opção dentre os MDE testados. Vale ressaltar que, de acordo com Takaku *et al.* (2014), o AW3D é um conjunto de dados de elevação obtido por estereoscopia, assim como o MDT VANT.

Bezerra *et al.* (2019) extraíram redes de drenagem a partir de diferentes produtos de MDE com resoluções espaciais distintas, dentre eles o SRTM (30m), ALOS - (12,5m) e dados *Light Detection And Ranging* - LIDAR (10m). Utilizaram como referência a drenagem disponibilizada pela Agência Nacional das Águas (ANA). De acordo com Jensen e Epiphonio (2011), o LIDAR é um sistema de varredura que emite e recebe pulsos de laser ótico, geralmente no infravermelho próximo para mapeamento topográfico, para medir a distância entre o sensor e o objeto alvo.

Bezerra *et al.* (2019) constataram que, para um mesmo valor mínimo de acumulação de fluxos, o LIDAR apresentou uma rede de drenagem muito mais volumosa e com mais detalhes, semelhante ao ALOS. Ademais, a extração de drenagem do MDE que obteve maior percentual em concordância com a rede da ANA foi a rede de drenagem extraída com o MDE

de maior resolução espacial (LIDAR). Desta forma, no presente trabalho, obteve-se o melhor resultado com o uso do MDT VANT que possui melhor resolução espacial.

Mello e Simões (2019) aplicaram o mapeamento com VANT para obtenção de MDE, seguido da geração da rede preferencial de fluxo hídrico superficial, com o objetivo de avaliar os dispositivos de drenagem superficial em um aterro sanitário. Os resultados mostraram que os MDEs de alta resolução foram capazes de reproduzir em detalhe os dispositivos de drenagem superficial do aterro, permitindo a análise e identificação de regiões de empoçamentos, áreas mais susceptíveis a processos erosivos e regiões que precisam de manutenção.

Rosa *et al.* (2018) avaliaram a viabilidade de dados advindos de um VANT no desenvolvimento do projeto de redes de drenagem pluvial considerando diferentes resoluções espaciais na análise. Foi gerado um mosaico das imagens e um modelo digital de superfície (MDS), ambos com resoluções de 4 centímetros. A estimativa das direções de fluxo no MDS, produzido a partir do VANT, foi realizada por meio do algoritmo D8. A área de drenagem foi determinada a partir do número de pixels a montante do ponto para o qual convergem as direções de fluxo no MDS (processo automatizado pela rotina computacional denominada “*flow accumulation*”). Os produtos gerados pelo levantamento com o VANT se mostraram eficientes para determinação de parâmetros de projeto de microdrenagem. A partir das análises realizadas obteve-se, não apenas o encaminhamento da drenagem no terreno, mas também a vazão drenada a partir das diferentes regiões. No entanto, a resolução da imagem mostrou-se um fator determinante para a precisão da estimativa das vazões. Verificou-se que à medida em que a resolução foi reduzida foram identificadas diferenças significativas nas vazões estimadas, indicando que resoluções com pixels maiores que 1,5m não são adequadas para análise precisa da microdrenagem urbana.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS E PROPOSTAS DE CONTINUIDADE

Neste trabalho, foi realizada uma análise comparativa da drenagem extraída a partir de dois MDEs (MDE ALOS/PALSAR SRTM e MDT VANT) com o uso da ferramenta *Hidrology* executado com o SIG ArcGIS, e levantamento a campo com uso de GPS, juntamente com fotointerpretação de imagem. As redes de drenagem foram comparadas com a rede hidrográfica de referência do IGAM.

Os algoritmos de extração de drenagem apresentaram melhor desempenho em áreas com declividade acentuada, onde os canais de drenagem são mais encaixados, quando comparado em áreas de relevo plano.

A copa das árvores interferiu no processo de delimitação automática da rede de drenagem. Isso acontece quando o MDE opera em uma banda cujo comprimento de onda não consegue penetrar no dossel das árvores.

Houve diferenças entre as nascentes indicadas pelo IGAM e a nascente mapeada via GPS. Isso se deve às características dos canais, que por serem intermitentes, o fluxo de água se mantém durante a estação chuvosa e cessa nos períodos de seca. Além do mais, como o mapeamento via GPS ocorreu no final do período de estiagem, foi possível inferir que houve uma alteração do local de exfiltração da nascente.

Constatou-se que a delimitação automática do MDT VANT, com melhor resolução espacial, obteve maior percentual de concordância com a rede de drenagem do IGAM. Deste modo, mostrou-se a base de dados mais adequada na delimitação de rede de drenagem de pequenas bacias.

Vale ressaltar a importância da extração da rede de drenagem automática via MDE, em áreas em que não exista uma base cartográfica confiável como a do IGAM e em escalas adequadas. Sendo assim, é preciso escolher um MDE apropriado que represente, da melhor forma possível, a rede de drenagem e que atenda aos requisitos do seu estudo e/ou projeto.

Indica-se como futuros estudos: mapeamento de nascentes tanto no período chuvoso quanto no período estiagem, realização de voos de VANT com variações de parâmetros (altura de voo, sobreposição lateral e longitudinal) e comparação com outros MDEs, como, por

exemplo, o MDS do sensor *Panchromatic Remote-Sensing Instrument for Stereo Mapping* (PRISM) a bordo do satélite ALOS, e o MDE do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER), a bordo do satélite Terra.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **RBAC-E Nº 94**: Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. [S.L.]: Sar/spo, 2017. 26 p.
- AGISOFT. **Discover intelligent photogrammetry with metashape**. 2020. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 12 set. 2020.
- ALASKA SATELLITE FACILITY. **ALOS PALSAR – Radiometric Terrain Correction**. Disponível em: <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>. Acesso em: 26 out. 2020.
- ALBUQUERQUE, P. C. G.; SANTOS, C. C. dos. **Gps para iniciantes**. São José dos Campos: Inpe, 2003. 46 p. Mini Curso - XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento.
- ALVES JÚNIOR, L. R. **Análise de produtos cartográficos obtidos com câmera digital não métrica acoplada a um veículo aéreo não tripulado em áreas urbanas e rurais no estado de Goiás**. 2015. 113 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Geografia, Instituto de Estudos Socioambientais - Iesa (Rg), Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2015.
- ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 30, n. 1, p. 46-57, fev. 2010. FapUNIFESP (SciELO).
- ANGELOV, P. P. **Sense and avoid in UAS: research and applications**. Lancaster: John Wiley & Sons, 2012. 380 p.
- ARIZA-VILLAVARDE, A. B.; JIMÉNEZ-HORNERO F. J. Influence of DEM resolution on drainage network extraction: a multifractal analysis. **Geomorphology**, [S.L.], v. 241, p. 243-254, jul. 2015. Elsevier BV.
- ASSUNÇÃO, M. G. T. de; BOTELHO, M. F.; CENTENO, J. A. S.; PACHECO, A. da P.. Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de Modelo Digital do Terreno. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis: Inpe, 2007. p. 3681-3688.
- BARBOSA, V. R. F.; CICERELLI, R. E.; ALMEIDA, T. de. Análise comparativa entre modelos digitais de elevação (MDE) do Satélite Alos. In: simpósio brasileiro de sensoriamento remoto, 2019, Santos. Anais [...]. Santos: Inpe, 2019. p. 3327-3330.
- BARROS, Rafael Silva de; CRUZ, Carla Bernadete Madureira; REIS, Rafael Balbi; COSTA JÚNIOR, Nilton de Assis. Avaliação do modelo digital de elevação do SRTM na ortorretificação de imagens Landsat 7 – Área de aplicação: Angra dos Reis – RJ. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Goiânia: Inpe, 2005. p. 3997-4004.

BEZERRA, U. A.; ANDRADE, J. M. de; ANDRADE, J. B. de; RUFINO, I. A. A. Extração de rede de drenagem por diferentes tipos de MDE. **Conimas**, Campina Grande, p. 1-11, nov. 2019.

BUARQUE, D. C.; FAN, F. M.; PAZ, A. R. da.; COLLISCHONN, W.; GUTIÉRREZ DE RAVÉ, E. Comparação de métodos para definir direções de escoamento a partir de modelos digitais de elevação. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 14, n. 2, p. 91-103, 16 jun. 2009.

CASTELLI, I. (Brasil). Techtudo. **Phantom 4: primeiro drone autônomo do mercado tem câmera 4K**. 2016. Disponível em: <https://www.techtudo.com.br/noticias/noticia/2016/04/phantom-4-primeiro-drone-autonomo-do-mercado-tem-camera-4k.html>. Acesso em: 04 out. 2020.

COELHO, L.; BRITO, J. N. **Fotogrametria digital**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2007. 196 p.

CORREA, M. de A.; FRANCISCO, C. N.; FERREIRA, L. da C. M. Extração automática de rede de drenagem gerada a partir de dados obtidos por perfilamento a laser. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 17., 2017, Campinas. **XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada**. Campinas: [S.L.], 2018. p. 5044-5056.

CRUZ, C. B. M.; BARROS, R. S. de. Planialtimetric Accuracy Evaluation of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM). **International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, Melbourne, v. 39, p.45-48, 1 set. 2012

DELAIR (Brasil). Techtudo. **UX5 HP**. 2020. Disponível em: <https://delair.aero/ux5-hp-3/>. Acesso em: 04 out. 2020.

DIAS, L. S. O.; ROCHA, G. A.; BARROS, E. U. A.; MAIA, P. H. P. Utilização do radar interferométrico para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Bahia Análise & Dados**, Salvador, v. 4, n.2, p.265-271, 2004.

DJI. **Phantom 4**: User Manual, v 1.6, 2017.

FAN, F. M.; COLLISCHONN W.; SORRIBAS M. V.; PONTES, P. R. M. Sobre o Início da Rede de Drenagem Definida a Partir dos Modelos Digitais de Elevação. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 18, n. 3, p. 241-257, 25 mar. 2013. FapUNIFESP (SciELO).

FARIA, R R. de; COSTA, M. E. A inserção dos veículos aéreos não tripuláveis (drones) como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental. **Revista Ordem Pública: REVISTA ORDEM PÚBLICA E DEFESA SOCIAL**, v. 8, n. 1, p.81-103, jul. 2015

FARR, T. G.; ROSEN, P. A.; CARO, E.; CRIPPEN, R.; DUREN, R.; HENSLEY, S.; KOBRICK, M.; PALLER, M.; RODRIGUEZ, E.; ROTH, L. The Shuttle Radar



Topography Mission. Reviews Of Geophysics, [S.L.], v. 45, n. 2, p. 1-33, 19 maio 2007. American Geophysical Union (AGU).

FELIPPE, M F; MAGALHÃES JUNIOR, A. P. Dinâmica hidrogeomorfológica de nascentes da serra do cipó e lagoa santa (MG). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília. **XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**. Brasília: [S.L.], 2015. p. 1-8.

FERNANDES, M. do C.; AVELAR A. de S.; MENEZES, P. M. L. de; NETTO A. L. C. Comparação do uso de superfície real e planimétrica para análises do índice de eficiência de drenagem: um estudo de caso no maciço da tijuca - RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S.L.], v. 13, n. 1, p. 29-37, 13 ago. 2012.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. **Avaliação de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado – VANT, para uso em erolevantamentos**. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geociências, Universidade de Brasília – Unb, Brasília, 2014.

FIGUEIRA, N. M.; OLEIVEIRA, L. C. de. Super resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do vant vt-15. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 30, p. 3-19, 2013.

FRANQUITTO, J. K. **Geração de modelos e índices digitais para diagnóstico da erosão de área agrícola**. 2019. 75 f. Tese (Doutorado) - Curso de Mestrado em Computação Aplicada, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2019.

GABOARDI, C; LÜBECK, D. Precisão altimétrica de modelo digital do terreno sob a vegetação obtido por interferometria de radar de abertura sintética de banda P. **Revista Brasileira de Geografia**, [S.L.], v. 61, n. 2, p. 67-81, 31 mar. 2017. IBGE.

GARRASTAZU, M. C.; ROSOT, M. A. D.; OLIVEIRA, Y. M. M. de; COSTA, F. A. da; GONÇALVES, F. M. (ed.). **Manual de orientação e uso do GPS de navegação (Garmin 76MAP CSX)**. Guaraituba: Embrapa, 2011. 55 p.

GOMES, T. S. **Fundamentos de gps: conceitos, operação e configuração**. Brasília: 2010. 19 p.

HOU, K.; SUN, J.; YANG W.; SUN T.; WANG Y.; MA S. Automatic extraction of drainage networks from DEMs base on heuristic search. **Journal Of Software**, [S.L.], v. 6, n. 8, p. 1611-1618, 11 ago. 2011. International Academy Publishing (IAP).

INMET. Clima. Disponível em: <https://clima.inmet.gov.br/>. Acesso em: 20 out. 2020.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. Construção de base ottocodificada de Minas Gerais: manual técnico. Belo Horizonte: Igam, 2012. 72 p.

ISIOYE, A. O.; JOBIN, P. An assessment of digital elevation models (DEMS) from different spatial data sources. **Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology**, v. 2, n. 1, 2012.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 598 p.

JENSEN, J. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese 2011. 663 p.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information-system analysis. **Photogrammetric Engineering And Remote Sensing**, Sioux Falls, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 11 nov. 1998.

JONES, R. Algorithms for using a DEM for mapping catchment areas of stream sediment samples. **Computers & Geosciences**, [S.L.], v. 28, n. 9, p. 1051-1060, nov. 2002. Elsevier BV.

JORGE, L. A. de C.; INAMASU, R. Y. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão**. São Carlos, p.1-26, 2014. Embrapa Instrumentação.

LIMA, Kleber Carvalho; CUNHA, Cenira Maria Lupinacci. Atualização cartográfica da rede de drenagem para estudo geomorfológico de rios intermitentes e efêmeros do semiárido. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 1-10, 27 mar. 2014.

LIMA, T. C. B.; UMEZU, C. K.; CAPPELLI, N. L.; NUNES, E. F. Equipamento microprocessado para geração de sinal de correção diferencial, em tempo real, para GPS. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 2, p.537-545, ago. 2006. FapUNIFESP (SciELO).

MACHADO, Jonathan. O que é GPS? Disponível em:  
<<https://www.tecmundo.com.br/conexao/215-o-que-e-gps-.htm>>. Acesso em: 23 abr. 2019

MARCHETTI, D. A. B.; GARCIA, G. J. **Princípios de fotogrametria e fotointerpretação**. São Paulo: Nobel, 1986.

MARQUES FILHO, E. A. **Sistema de navegação inercial GPS/INS de baixo custo com compensação de erros por redes neurais artificiais**. 2011. 150 p. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia e Tecnologia Espaciais/mecânica Espacial e Controle, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2011.

MELLO, C. C. de S.; SIMÕES, G. F. Avaliação da drenagem superficial em aterros sanitários subsidiada por VANT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOTECNIA AMBIENTAL, 9., 2019, São Carlos. **IX Congresso Brasileiro de Geotecnica Ambiental**. São Carlos: [S.L.], 2019. p. 1-9.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. de. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MORAIS, R. C. de S.; SALES, M. C. L. Extração automática de drenagem: uma análise comparativa a partir de diferentes ferramentas e bases de dados (draining automatic extraction. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.L.], v. 9, n. 6, p. 1849-1860, 19 out. 2016.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), 2001. 250 p.

NASA. **Ten-Engine Electric Plane Prototype Takes Off**. 2015. Disponível em: <https://www.nasa.gov/image-feature/ten-engine-electric-plane-prototype-takes-off>. Acesso em: 04 out. 2020.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Applied Geomatics**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 1-15, 8 nov. 2013. Springer Science and Business Media LLC.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics, And Image Processing**, [S.L.], v. 28, n. 3, p. 323-344, dez. 1984. Elsevier BV.

OTAKE, V. S. **Produtos cartográficos gerados a partir de drones e aplicações na agricultura**. 2017. 20 f. TCC (Graduação) - Curso de Agronomia, Centro de Ciências Exatas Tecnológicas e Agrárias, Unicesumar - Centro Universitário de Maringá, Maringá, 2017.

PADILLA, C. E. **Optimizing jet transport efficiency: performance, operations, and economics**. New York: McGraw-Hill, 1996. 216 p.

PIX4D. Pix4Dcapture. Disponível em: <https://www.pix4d.com/product/pix4dcapture>. Acesso em: 08 out. 2019.

REMONDINO, F., BARAZZETTI, L., NEX, F., SCAIONI, M., SARAZZI, D. UAV photogrammetry for mapping and 3d modeling - current status and future perspectives. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 1, 2011, p. 7, set. 2011.

ROSA, C.N.; PICCILLI, D.G.A.; TASSI, R.; FAVARETTO, J.R.; LIMBERGER, M.F.. Use of Unmanned Aircraft Images in Urban Drainage Projects. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, [S.L.], v. 41, n. 1, p. 308-317, 16 maio 2018. Instituto de Geociências - UFRJ.

SANTOS, A. de P. dos; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R. dos; RODRIGUES, D. D. Avaliação da acurácia posicional planimétrica em modelos digitais de superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p.157-174, mar. 2016. FapUNIFESP (SciELO).

SANTOS, D. S. dos; DIAS, F. F. Uso de anaglifos como alternativa para práticas de estereoscopia em sensoriamento remoto. **Anuário do Instituto de Geociências - Ufrj**, Niterói, p.105-111, dez. 2011. Disponível em: <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/anigeo/article/view/5813/5322>>. Acesso em: 13 jun. 2019.

SHIRATSUCHI, L. S.; BRANDÃO, Z. N.; VICENTE, L. E.; VICTORIA, D. de C.; DUCATI, J. R.; OLIVEIRA, R. P. de; VILELA, M. de F. Sensoriamento Remoto: conceitos básicos e aplicações na Agricultura de Precisão. In: BERNARDI, A. C. de C.; NAIME, J. de M.; RESENDE, Á. de V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. **Agricultura de Precisão: Resultados de um novo olhar**. S.L.: Embrapa, 2014. Cap. 4. p. 58-73.

SILVA, K. L. da; MORAIS, A. S. de. Hardware para controle avançado de veículo aéreo não tripulado do tipo quadricóptero. **Horizonte Científico**, Uberlândia, v. 8, n. 1, p. 1-22, 31 jul. 2014.

TAKAKU, J.; TADONO, T.; TSUTSUI, K. Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM. **Isprs - International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -4, p. 243-248, 23 abr. 2014. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-4-243-2014>.

VALERIANO, M. de M.; ROSSETTI, D. de F. Topodata: brazilian full coverage refinement of srtm data. **Applied Geography**, [S.L.], v. 32, n. 2, p. 300-309, mar. 2012. Elsevier BV.

WANG, L.; LIU, H., 2006. An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 20, p. 193- 213, nov. 2005.

ZHOU, Q.; CHEN Y. Generalization of DEM for terrain analysis using a compound method, **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, [S.L.], v. 66, n. 1, p. 38-45, jan. 2011.