

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE OURINHOS**

BRUNO CESAR BEGA PEREIRA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS COM
FOTOGRAFIAS OBTIDAS POR VANT (RPAS)**

OURINHOS - SP
2017

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA-UNESP
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
CÂMPUS DE OURINHOS**

BRUNO CESAR BEGA PEREIRA

**ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DE PROCESSOS EROSIVOS COM
FOTOGRAFIAS OBTIDAS POR VANT (RPAS)**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à banca examinadora para
obtenção do título de Bacharel em Geografia
pela Unesp – Campus Experimental de
Ourinhos.

Orientador: Prof. Adj. Dr. Edson Luís Piroli

OURINHOS - SP
2017

Banca examinadora

Prof. Adj. Dr. Edson Luís Piroli (Orientador)

Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione

Me. Júlio Cesar Demarchi

Ourinhos, 20 Junho de 2017.

Dedicatória

À minha grandiosa mãe por ser uma mulher de fibra e guerreira que sempre me apoiou e incentivou para os estudos. À minha noiva, por ser minha companheira e acreditar nos meus sonhos e à minha sogra por me adotar como um filho, dedico.

Agradecimentos

Primeiramente a Deus, por tudo!

À minha família. Mãe (Alvina), Noiva (Scheila) e minha Sogra (Lucélia), pelo o apoio e pela compreensão da minha ausência em determinados momentos.

Ao meu orientador, Prof. Adj. Dr. Edson Luís Piroli, que acreditou no meu projeto e aceitou ser meu orientador, me dando subsídios para desenvolver esse trabalho. Muito obrigado professor!

Ao Prof. Dr. Rodrigo Lilla Manzione pelas excelentes aulas de recursos hídricos e por aceitar fazer parte da banca examinadora. Muito obrigado, professor!

Ao Me. Júlio Cesar Demarchi por ter acompanhado o primeiro trabalho de campo, e pela gentileza de aceitar o convite para compor a banca avaliadora deste trabalho. Muito obrigado, Julio!

Ao Me. Pedro Guglielmi Junior por ter participado do trabalho de campo e contribuir com seus equipamentos a aeronave DJI Phantom 3 Professional e a estação GNSS. Muito obrigado, Pedro!

Ao Me. George Alfredo Longhitano e a empresa G-Drones pelas orientações e suportes nos processamentos das imagens e na extração do Modelo Digital de Superfície (MDS) e dos Ortomosaicos. Meu muito obrigado George!

A todos os colegas da 10ª turma do curso de Geografia da Unesp. E também a todos os professores e os funcionários da UNESP – Ourinhos, que acompanharam minha trajetória durante a graduação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	10
ABSTRACT.....	10
1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	11
2 OBJETIVOS	14
2.1 Objetivo geral.	14
2.2 Objetivos específicos.	14
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	15
3.1 Definições de VANT/RPA e RPAS.	15
3.2 Histórico no mundo.	16
3.3 Histórico no Brasil.....	19
3.3.1 Modelos de VANTs militares	21
3.3.2 Modelos de VANTs Civis	23
3.4 Composição e classificação de um VANT	24
3.5 O monitoramento de processos erosivos	27
3.5.1 Sensoriamento Remoto	27
3.5.2 Sensores utilizados em plataforma aérea	28
3.6 Fotografias aéreas e fotointerpretação	30
3.7 Monitoramento de processos erosivos utilizando imagens orbitais	32
3.8 Monitoramento de erosão com VANT	33
3.9 Erosão hídrica	35
3.9.1 A definição	35
3.9.2 Tipos de erosão	36
3.9.3 Processos e evolução	37
3.9.4 Feições erosivas	38
3.9.5 Impacto ambiental e área degradada por erosão	39
4 MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1 A caracterização da área de estudo	41
4.2 Material.....	43
4.2.1 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs)	43
4.2.2 Câmera utilizada para tomada das imagens do voo automático	45
4.2.3 Plataforma de controle para execução dos voos automáticos	46
4.2.4 Método de coleta dos pontos de controle	47
4.3 Procedimentos metodológicos	48
4.3.1 Planejamento e execução do voo	48
4.3.2 Processamento dos dados	55
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60

5.1	Trabalho de campo	60
5.1.1	Aerolevanteamento	66
5.2	Análise do processamento das fotografias aéreas.....	73
5.2.1	Modelo Digital de Superfície (MDS).	73
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	78
7	REFERÊNCIAS	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Primeiros mísseis de cruzeiro.....	16
Figura 2. Queen Bee sendo testado.	17
Figura 3. Sistemas não pilotados dos anos 60.	18
Figura 4. Voo de teste do <i>General Atomics Gnat</i> , modelo A.....	18
Figura 5. Evolução cronológica dos UAS militares nos Estados Unidos.....	19
Figura 6. Principais VANTs para uso militar. Skylark (A), Hermes 90 (B), Hermes 450 (C) e Hermes 900 (D), ambos desenvolvidos pela AEL Sistemas; BRV-02Brvant (E), Soluções Tecnológicas; Delta 55™ (F), Brasil Aircrafts;Horus FT-100 (G) e Vant FT-200FH (H), modelos da FT Sistemas AS; (I) Falcão Avibras.	22
Figura 7. Principais modelos de VANT comercializados no Brasil. Apoena 1000 (A), Nauru 500B (B), Echar 20 B (C) e Arator (D) todos produzidos pela Xrobots; Zangão (E), Pelicano (F) modelos da SkyDrones; Isis (G) eMaptor(H) modelos daHorus Aeronaves; US Spyro (I), Sensormap; Batmap (J),Droneng;Gyro 500 (K), GyroflyInnovations;Orbis(l), Santos Lab; G Quad(M), G octa (N) e G Survy Sv2 (O) modelos da G Drones.	23
Figura 8. Componentes de um sistema de VANT Asa Fixa (A), Multirotor (B) e Plataforma de Controle (C).	25
Figura 9. Arquitetura de um sistema VANT.....	25
Figura 10. Tipos de sensores embarcados e respectivas aplicações.	29
Figura 11. Imagem de pombos e pipa portando câmera fotográfica.	30
Figura 12. Fotografia tirada por John Philip de Lorenz da baía de São Francisco nos Estados Unidos após terremoto de 1906, com a utilização de uma pipa.	30
Figura 13. Mapa de localização da área de estudo	41
Figura 14. Localização da área de estudo.....	42
Figura 15. Imagem das aeronaves (A) <i>Phantom 3</i> Profissional e o (B) <i>Iris 3D Robotics</i>	44
Figura 16. Câmera RGB - Canon 12 megapixels.	45
Figura 17. Plataforma de controle. A imagem demonstra o Rádio controle sendo calibrado antes do voo e o rádio utilizado.	46
Figura 18. Tela do <i>Mission Planner</i> após a realização do voo.....	46
Figura 19. Instalação da base do receptor do GNSS.	47
Figura 20. Demonstração do método de posicionamento <i>Real Time Kinematic(RTK)</i>	47
Figura 21. Área de estudo fragmentada em segmentos, polígonos representando as áreas de influência.	49
Figura 22. Imagem de Satélite demonstra a área de voo delimitada com polígono vermelho, e local de pouso e decolagem da aeronave com marcador em verde, (A). Representação do perfil altimétrico do terreno, (B). Fotografias demonstrando as vertentes e o fundo de vale, (C).	49
Figura 23. Cálculo de voo.	51
Figura 24. Sobreposição.	52
Figura 25. Linhas de voo e sobreposição laterais e longitudinais de levantamentos aerofotogramétricos.	52
Figura 26. Telas do <i>Mission Planner</i> parâmetros do voo.....	53
Figura 27. Linha de tomada de fotos com o <i>DJII Phantom 3</i> Profissional voo manual.....	54
Figura 28. Demonstração do local dos pontos de apoio em solo.	55
Figura 29. Fluxograma dos procedimentos realizados no <i>Agisoft PhotoScan</i>	56
Figura 30. Demonstração de nuvens densas da erosão.....	57
Figura 31. Demonstração da rede de triângulos.	57

Figura 32. Demonstração de geração da ortofoto.....	58
Figura33. Demonstração do alinhamento manual do ponto de controle com a marcação materializada em campo.	58
Figura 34. Elementos a montante da erosão. (A) Vegetação e malha viária (B) Ponto de coleta de águas pluviais, (C) Animais e (D) Curvas de nível.	60
Figura 35. Descarte irregular de lixo doméstico e entulhos.	61
Figura 36. Caçamba abandonada.....	62
Figura 37. Cabeceira da erosão.....	63
Figura 38. Trecho médio da erosão.	64
Figura 39. Trecho médio da erosão.	65
Figura 40. Cabeceira da voçoroca em 2016.	66
Figura 41. Transformação da cabeceira da voçoroca nos anos de 2016 a 2017.....	67
Figura 42. Atterramento da erosão.	68
Figura 43. Depósitos de resíduos sólidos em diferentes períodos de monitoramento.....	69
Figura 44. Caçambas abandonadas.....	70
Figura 45. Trecho médio da erosão.	71
Figura 46. Foz da erosão (2016). (A) imagem aérea. (B) galerias, saída das águas pluviais. (C) limite da propriedade.....	72
Figura 47. Ortomosaico (2016).	73
Figura 48. Sobreposição da imagem.	74
Figura 49. Mosaicos da erosão 26/02/2016 e 26/02/2017.	75
Figura 50. Representação do Modelo Digital de Superfície (MDS).	76
Figura 51. Perfis transversais dos segmentos da erosão.....	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANAC:	Agência Nacional de Aviação Civil
APP:	Área de Preservação Permanente
CBT:	Companhia Brasileira de Tratores
DEA:	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
FAA:	Federation Aviation Administration
FAO:	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GNSS:	Global Navigation Satellite System
GPS:	Sistema de Posicionamento Global
GSD:	Ground Sample Distance
IBGE:	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICA:	Instrução do Comando da Aeronáutica
MDS:	Modelo Digital de Superfície
PAC:	Programa de Aceleração do Crescimento
ROA:	Remotely Operated Aircraft
RPA:	Aeronave Remotamente Pilotada
RPAS:	Remotely Piloted Aircraft System
RPV:	Remote Piloted Device
RTK:	Real Time Kinematic
SDCI:	Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial
SIRGAS:	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
UAS:	Unmanned Aircraft System
UAV:	Unmanned Aerial Vehicle
UTM:	Universal Transversa de Mercator
VANT:	Veículo Aéreo não Tripulado
WGS84:	World Geodetic System 84

RESUMO

O aumento das malhas urbanas sem planejamento adequado gera um agravamento nos quadros de degradação ambiental. As Áreas de Preservação Permanente (APP), como mananciais e encostas que precisavam ser preservadas, estão sendo ocupadas. Somado a isso há o intenso processo de impermeabilização do solo e a canalização de águas pluviais. A consequência desses procedimentos inadequados é a degradação do solo urbano e o aumento de processos erosivos. Assim, o presente trabalho buscou avaliar a aplicabilidade de um Veículo Aéreo não Tripulado (VANT) como plataforma de aquisição de fotografias aéreas para o monitoramento ambiental, em uma área degradada por processos de erosão, às margens da Avenida Vitalina Marcusso, no município de Ourinhos/SP. Para tanto, utilizou-se de técnicas do Sensoriamento Remoto, fotointerpretação e Geoprocessamento para a produção do Modelo Digital de Superfície (MDS) e Ortomosaicos que contribuíram para análise dos processos erosivos e também na identificação dos impactos ambientais. Nessa perspectiva, observa-se que a erosão não está totalmente estável, embora nos últimos anos a Prefeitura Municipal realizou algumas intervenções, visando a estabilidade da mesma. Entretanto, essas medidas estão contribuindo para o aumento do quadro de degradação ambiental da área.

Palavras-chave: VANT; Sensoriamento Remoto; Erosão, Impactos Ambientais.

ABSTRACT

Increasing urban network without adequate planning creates a worsening of environmental degradation. The Areas of Permanent Preservation (APP) as: source and slopes which needed to be preserved are being occupied. In addition there is an the intense process of soil impermeabilization and the channeling of rainwater. The consequence of these inadequate procedures It is the degradation of the urban soil and the increase of the erosive processes. Thus, the present study aimed to evaluate the applicability of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as a platform for the acquisition of aerial photography for environmental monitoring in a degraded area by erosion processes, on the banks of the Avenida Vitalina Marcusso, in the city of Ourinhos / SP. For this purpose, techniques of Remote Sensing, photointerpretation and geoprocessing for the production of the Digital Surface Model (DSM) and orthomosaics who contributed to analyze the erosion processes and also in the identification of environmental impacts. From this perspective, it is observed that the erosion is not fully stable, although in recent years the municipal government by means of some interventions aimed at the its stability. However, these measures are contributing to the increase of environmental degradation of the area.

Key Words: UAV; Remote Sensing; Soil Erosion; Environmental Impacts.

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

O solo é um recurso essencial aos seres vivos, pois é nele que 25% da biodiversidade do Planeta se encontra. A natureza leva centenas de anos para gerar um centímetro de solo. Porém, o seu uso inadequado gera anualmente uma perda da ordem de 5 a 7 milhões de hectares.

Um estudo da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) revela que 30% dos solos do mundo estão degradados. As principais causas dessa degradação estão associadas à compactação, perda da matéria orgânica e a erosão. A erosão do solo é definida como o desprendimento e arraste das partículas de solo pela água e pelo vento. Sendo a erosão hídrica a mais comum e a que mais gera perdas de solo, ela ocorre por causa do escoamento superficial da água pluvial. Segundo o Guia de Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos, a erosão causada pelo escoamento superficial pode ser natural ou acelerada.

A erosão acelerada está relacionada à interferência do homem no ambiente natural e à ocupação inadequada do solo. Ainda nessa esteira, afeta as áreas agrícolas e urbanas. Porém, é na última que ela tem efeito devastador, gerando degradação e perda de solo urbano, além do assoreamento dos corpos hídricos (SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ, 2010). Esses fenômenos trazem riscos à população em recorrência cada vez maior, além de intensas catástrofes que provocam: a destruição de casas, equipamentos e patrimônios públicos, gerando prejuízos inestimáveis à sociedade.

O aumento das malhas urbanas sem planejamento agrava ainda mais o problema. Locais como encostas íngremes e mananciais, que até então deveriam ser preservadas, são ocupados. Somado a isso há o intenso processo de impermeabilização do solo e a canalização de águas pluviais. A consequência desses procedimentos inadequados é a degradação do solo urbano e o aumento de processos erosivos.

Nessa perspectiva, torna-se necessário o emprego de ferramentas e metodologias para o controle e conservação desses processos. O monitoramento ambiental é um instrumento do gerenciamento ambiental. Segundo Brasil (2012), essa ferramenta é utilizada para a realização de observação e medições do ambiente, sendo suas operações contínuas ou periódicas. Visto que ela é inserida na gestão ambiental dos recursos naturais, corroborando com o

conhecimento e informações nas políticas ambientais e nas tomadas de decisão. Ainda nessa linha de análise, as geotecnologias emergem e tornam-se imprescindíveis para a realização de monitoramentos.

O Sensoriamento Remoto é uma ciência ou técnica de aquisição de informação sem contato físico com o objeto. Segundo Jensen (2009) o Sensoriamento Remoto pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra. Logo, as imagens obtidas por meio de fotografias aéreas, satélite e/ou radar têm sido amplamente utilizadas para diversos fins. É irrefutável que o processamento, interpretação e posterior análise dessas imagens vêm se mostrando como instrumento cada vez mais relevante para estudo de processos erosivos, movimentos de massas e áreas degradadas (GUERRA; JORGE, 2013).

Nesse escopo tecnológico os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) vêm emergindo. O uso dessa plataforma destaca-se pelas diversas possibilidades de aplicação como constatado por uma pesquisa feita pela European Commission, 2007, cujo título era *Study Analysing the Current Activities in the Field of UAV*. A pesquisa elaborou uma lista de potencialidades dessas plataformas nos setores civis e comerciais. Agricultura, floresta, pesca, transportes, segurança, meteorologia, hidrologia, topografia, engenharia, ecologia são citados como áreas potenciais de aplicação. Segundo Medeiros (2007), no Brasil esses equipamentos estão sendo utilizados na inspeção de linhas de transmissão de energias, vigilância policial, levantamento de condições meteorológicas e aplicações voltadas à agricultura de precisão. Vale citar que algumas pesquisas já foram realizadas com o fim de monitoramento e mapeamento de áreas degradadas como por LONGHITANO, 2010; BRASIL, 2012 e RODRIGUES, 2016.

Assim sendo, este trabalho tem como tema a aplicação de Sensoriamento Remoto com VANT, para monitoramento ambiental em uma área degradada por processos de erosão hídrica, com o objetivo principal de avaliar a aplicabilidade de um VANT como plataforma para a tomada de fotografias aéreas para monitoramento ambiental. O estudo de caso foi desenvolvido em uma área degradada por processos de erosão hídrica, às margens da Avenida Vitalina Marcusso, no município de Ourinhos/SP.

Atualmente o local está interditado, porém até sete anos atrás, segundo Sobral (2011) passou por algumas obras de recuperação financiadas pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC). O que mais chama atenção é o manejo inadequado da erosão, uma vez

que o canal principal dela está sendo preenchido com restos de matérias de construção (entulhos). Essa técnica só está contribuindo para o aumento da degradação ambiental da área e o assoreamento do principal corpo hídrico da microbacia, o Córrego da Veada.

Assim, pelo quadro histórico e de alterações que vem sofrendo a área, esse estudo é pertinente na tentativa de avaliar o estágio dos processos erosivos e dos impactos ambientais sofridos até o momento. Além disso, essa pesquisa terá outro papel relevante: o de comunicação científica, já que pretende-se trazer a toda a comunidade acadêmica e aos órgãos municipais competentes o debate da potencialidade dos VANTs como uma ferramenta para o monitoramento e proteção de áreas degradadas por impactos ambientais, inserindo as primeiras discussões acerca desse tema e dando subsídios para elaboração de outras pesquisas no mesmo âmbito.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral.

Avaliar a aplicabilidade de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) como plataforma para a tomada de fotografias aéreas no monitoramento ambiental, em uma área degradada por processos de erosão hídrica, às margens da Avenida Vitalina Marcusso, no município de Ourinhos/SP.

2.2 Objetivos específicos.

- Verificar a operabilidade de um VANT para apoio de monitoramento em área degradada por processos erosivos;
- Analisar as alterações da paisagem a partir das fotografias aéreas, Modelo Digital de Superfície (MDS) e de Ortomosaicos;
- Identificar por meio da fotointerpretação, impactos ambientais que estão ocorrendo na área objeto de estudo em decorrência do uso inadequado do solo;
- Gerar um documento que demonstre à comunidade acadêmica e aos órgãos municipais competentes o potencial dos VANTs como uma ferramenta para o monitoramento e avaliação de áreas degradadas por impactos ambientais, proporcionando subsídios ao planejamento e gestão ambiental;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Definições de VANT/RPA e RPAS.

Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) estão se popularizando nas últimas décadas, principalmente a partir da miniaturização das tecnologias e dos componentes elétricos e a possibilidades de aplicação como, por exemplo: projetos de engenharia, em estudos ambientais, agricultura de precisão, etc. Porém foi nas Forças Armadas que essa tecnologia surgiu e se desenvolveu.

Os Estados Unidos são os pioneiros nas pesquisas e no desenvolvimento de Aeronaves. A *Federeition Aviation Administration* (FAA) define os *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) como uma aeronave não tripulada incluindo todas as classes de equipamentos utilizados para voos como: helicópteros, aviões, entre outros. Em 2009 o Departamento de Defesa (DOD) redefiniram a nomenclatura incluindo o *System* ficando UAS (*Unmanned Aircraft System*) (FIGUEIRA, 2016).

No Brasil o termo mais popular é DRONE e em seguida vem o VANT. O primeiro trata-se de uma nomenclatura informal de acordo com Baltazar:

A palavra *drone* tem origem no termo inglês “*Dran*”, que designa o macho da abelha, conhecido como zângão. Foi adaptada para classificar os aparelhos voadores de motor, telecomandados, conhecidos por emitirem um zumbido característico originado pelas hélices. (BALTAZAR, 2015, p. 9)

Já Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é um conceito mais formal utilizado nos âmbitos acadêmicos, pois faz referência a uma plataforma aérea. Cabe citar que grande parte dos trabalhos na literatura nacional adotou essa terminologia (MURATTO, 2015).

Zanetti (2017, p. 9) cita outras expressões também utilizadas pela literatura como “*Remotely Operated Aircraft* – ROA (Aeronave Operada Remotamente), *Remote Piloted Device* – RPV (Veículo Pilotado Remotamente), *Airborne Remotely Operated Device* – AROD (Dispositivo Aéreo Remotamente Operado)”.

A partir de 19 de novembro de 2015 entra em vigor a Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40. O documento tem como finalidade regulamentar os procedimentos e responsabilidades necessários para o acesso seguro ao espaço aéreo brasileiro. Segundo o documento, um *Remotely Piloted Aircraft* (RPA), é uma “Aeronave não tripulada pilotada a partir de uma estação de pilotagem remota, utilizada com propósitos não recreativos”. Já um *Remotely Piloted Aircraft* (RPAS), é uma “Aeronave remotamente pilotada, e sua(s)

estação(ões) de pilotagem remota, o enlace de pilotagem e qualquer outro componente, como especificado no seu projeto” (ICA 100-40 2015, p. 10). Tanto o DEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo) quanto a ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) adotaram o termo RPA para aeronaves e RPAS quando se tratar do conjunto formado pelo sistema composto de aeronave e estação de controle.

3.2 Histórico no mundo.

Os VANTs tiveram sua origem no âmbito militar, mais especificamente nas forças armadas nos Estados Unidos e Reino Unido. Foi nesses países que a tecnologia teve seu estado da arte. Para Austin (2010, p. 304), os primeiros UAV eram mísseis de cruzeiro e foram desenvolvidos como armamento de longo alcance. A Figura 1 a seguir ilustra as principais armas em 1917.

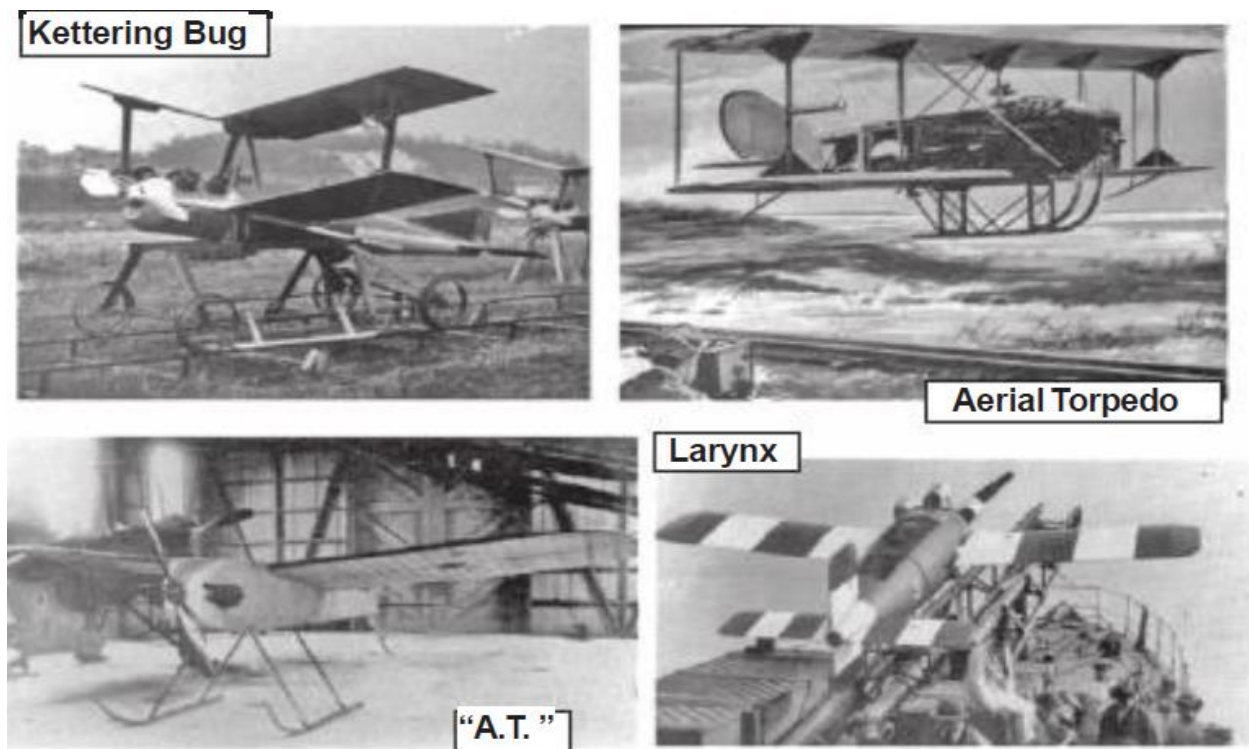


Figura 1. Primeiros mísseis de cruzeiro
Fonte: Austin (2010, p. 304).

Em meados dos anos 20, novos equipamentos foram surgindo. Destaca-se o *Queen Bee* (Abelha Rainha). Inventado pela Marinha Britânica, era um monoplano capaz de transportar uma ogiva de 114 kg, numa extensão de 480 km. Os primeiros testes foram a partir de 1927.



Figura 2. Queen Bee sendo testado.
 Fonte: Adaptado de Austin (2010, p. 305).

Austin (2010, p. 305) lembra que *Queen Bee* foi posto à prova durante a Segunda Guerra Mundial. Seu êxito levou a produção de outros exemplares mais leves e rápidos na *Radioplane Company* nos EUA. A autora ainda diz que com o aperfeiçoamento dos motores a jato nos anos 60, o desenvolvimento de UAV cresceu muito rápido nesse cenário e foram desenvolvidos outros protótipos como o "*Ryan Firebee*" (Figura 3). A plataforma poderia ser lançada do solo com um sistema propulsor por foguetes ou uma aeronave tripulada. Além do mais, foram adaptados para transportar câmeras para o reconhecimento do território inimigo. Outra vantagem do *Firebee* foram às adaptações na sua fuselagem para confundir os sistemas de radar dos inimigos. Ainda nesse cenário é importante salientar o Projeto *Gyrodyne DASH*, (o drone anti-submarino helicóptero). Foi provavelmente o primeiro UAV a ser levado para um campo de batalha pelos Estados Unidos. Tinha a missão de reconhecer território, carregar armamentos e atacar submarinos inimigos que estavam fora do alcance dos navios.

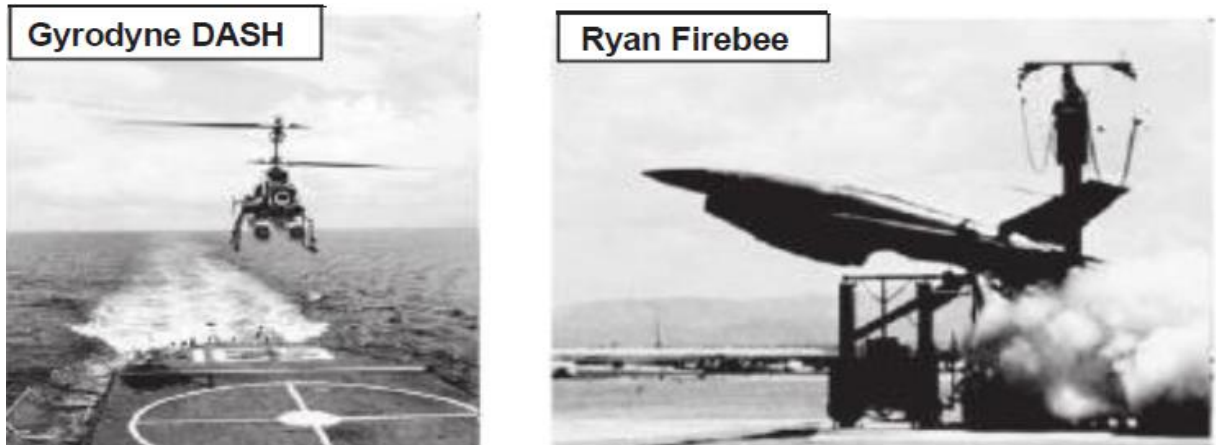


Figura 3. Sistemas não pilotados dos anos 60.
Fonte: Adaptado de Austin (2010, p. 307).

O lançamento dos primeiros satélites para comunicação e a difusão do Sistema de Posicionamento Global (GPS), assim como os sistemas telemétricos dos UAV foram aprimorados. A pretensão dos engenheiros era desenvolver aeronaves que pudessem voar mais alto e com maior alcance. Logo, os sistemas inerciais e aerodinâmicos responsáveis pela instabilidade e sustentação da aeronave no ar precisaram ser atualizados. Com isso surgiram plataformas mais resistentes e que voaram com sistemas de comunicação de longo alcance.

O primeiro protótipo construído foi o *General Atomics Gnat*, que era alimentado por um motor a pistão. Seu sucessor, o *General Atomics Gnat A*, em meados da década de 90, participou de uma missão de reconhecimento na Guerra da Bósnia. A figura 4 mostra o protótipo em voo de teste nos Estados Unidos.



General Atomics Gnat A	
All-Up-Mass	511kg
Wing Span	10.76m
Power	48.5kW Rotax 2-stroke
Max Speed	260km/hr
Ceiling	7,620m
Endurance at 1,500m	40hr
Operational Radius	2,800km

Figura 4. Voo de teste do *General Atomics Gnat*, modelo A.
Fonte: Adaptado de Austin (2010, p. 312).

A Figura 5 demonstra a evolução dos VANTs militares americanos, ocorrida de 1985 a 2015.

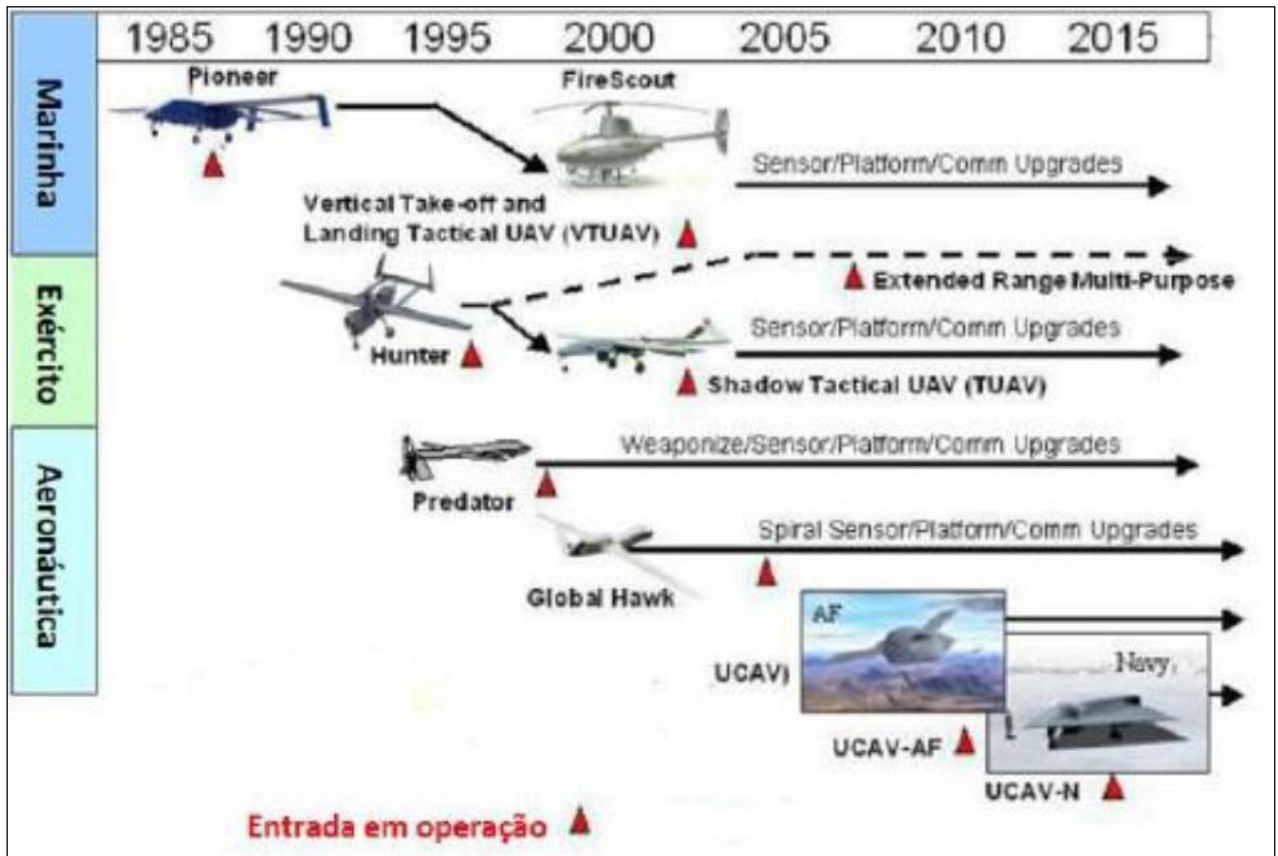


Figura 5. Evolução cronológica dos UAS militares nos Estados Unidos.





Fonte: Longhitano (2010, p. 24).

Percebe-se que o setor militar foi o maior desenvolvedor de protótipos de *UAS*. Como observado nas imagens anteriores, as aeronaves foram construídas para aplicação militar, porém algumas delas foram adaptadas e aplicadas no campo civil. O autor cita a utilização do *Global Hawk* para uma missão científica para a *National Aeronautics and Space Administration (NASA)*.

3.3 Histórico no Brasil

Segundo Munaretto (2015, p. 37), no Brasil essa tecnologia também tem seu surgimento no setor militar nos anos 1980. O quadro 1 a seguir mostra a evolução dos projetos VANTS nacionais.

Quadro 1: Evolução dos VANTS no Brasil.

ANO	NOME	ESPECIFICAÇÕES	FINALIDADE	EXEMPLOS
1982	BQM – 1BR	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor: JT-2 ➤ Autonomia: 45 min; ➤ Peso: 92,5 Kg; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapear; ➤ Vigiar áreas de risco; ➤ Servir de alvo aéreo para treinamento; ➤ Apoio tático; 	
1ª Fase 1984	ACAUÃ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor 32 HP ➤ Autonomia: 2 horas; ➤ Peso: 150 Kg; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso militar ações táticas; ➤ Vigilância e identificação de radares e sensores; ➤ Uso civil para pesquisas e mapeamento; 	
2ª Fase 2005				
3ª Fase 2010				
1999	A.R.A.R.A	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor: 5 HP ➤ Autonomia: 2 horas; ➤ Peso: 150 Kg; 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Agricultura de precisão 	
2006 2009	CARCARÁ I CARCARÁ II	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Motor: Elétrico ➤ Autonomia: 1 hora ➤ Peso: 1,8 kg 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Uso militar de reconhecimento utilizado na ocupação do Complexo da Maré RJ em 2014 	

Fonte: Longhitano (2010), Munaretto (2015) e Figueira (2016).

O quadro traz informações sobre evolução cronológica dos projetos VANTS no Brasil. Pode-se perceber que a maioria dos projetos teve seu início no âmbito militar nos anos 1980. A Companhia Brasileira de Tratores (CBT) em São Carlos – SP foi a primeira a desenvolver a plataforma militar que se chamou de BQM 1BR, cujas finalidades eram realizar três tipos de missão: Reconhecimento, Ataque e Alvo Aéreo. Infelizmente o projeto foi abandonado por falta de financiamento. Posteriormente surgiram dois novos projetos: Acauã e o A.R.A.R.A. O primeiro foi gerado devido à necessidade do Ministério da Aeronáutica ter um alvo manobrável de alto desempenho para ensaios com mísseis teleguiados. O projeto Aeronaves de Reconhecimento Assistidas por Rádio Autônomas, denominado de A.R.A.R.A, foi iniciado no Laboratório de Computação de Alto Desempenho do Instituto de Ciências, Matemática e de Computação da Universidade de São Paulo (USP), Câmpus de São Carlos, em parceria

com Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e a empresa AGX Tecnologia Ltda. O projeto teve quatro fases principais. A primeira visou à construção de uma aeronave rádio controlada no alcance visual. A fase dois visou fazer voos fora do alcance e para isso implantou-se um sistema aviônico a bordo, além de uma estação de controle. Na fase três fez-se o desenvolvimento de piloto automático, o qual incluiu um sistema com estação de controle a partir do solo. A última fase e mais tecnológica foi aumentando o tempo de voo. Isso elevou a autonomia da aeronave. Foi acoplado um processamento de imagem, além de uma nova arquitetura de *hardwares e softwares*. (MUNARETTO, 2015) e (RASI, 2008). Embora os investimentos e projetos estejam longe de se comparar aos dos Estados Unidos, é possível perceber que foi a partir do final da década de 90 que os projetos de pesquisa e desenvolvimento vêm se multiplicando no Brasil.

Ainda vale citar o projeto CARCARÁ, iniciado em 2006 pela empresa brasileira Santos Lab, que desenvolveu o protótipo que serviu a Marinha Brasileira, sendo integrado ao batalhão de Controle Aerotático e Defesa Antiaérea do Corpo de Fuzileiros Navais com a finalidade de ser uma aeronave de reconhecimento (LONGHITANO, 2010).

A partir de 2010 essa tecnologia ganhou um novo fôlego com o nascimento de algumas empresas incubadas em universidades e centros de pesquisas. A seguir pretende-se mostrar modelos de VANTs utilizados pelos órgãos ligados à segurança pública como: Exército, Marinha, Aeronáutica e Polícia Federal. Posteriormente demonstrar os equipamentos comercializados no mercado civil. Também será explicado sobre a composição de um sistema e a classificação.

3.3.1 Modelos de VANTs militares

Desde o surgimento do primeiro VANT pela Companhia de Tratores até a construção do Falcão, a primeira aeronave de 800 quilos produzida em território nacional Munaretto (2015), percebe-se que grande parte da tecnologia era direcionada à criação de equipamentos que serviam às forças armadas. Os mosaicos das Figuras 5 e 6 são um apanhado de imagens retiradas do Relatório de Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados, da Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial (SDCI). A seguir foram mostrados os principais VANTs para uso militar.

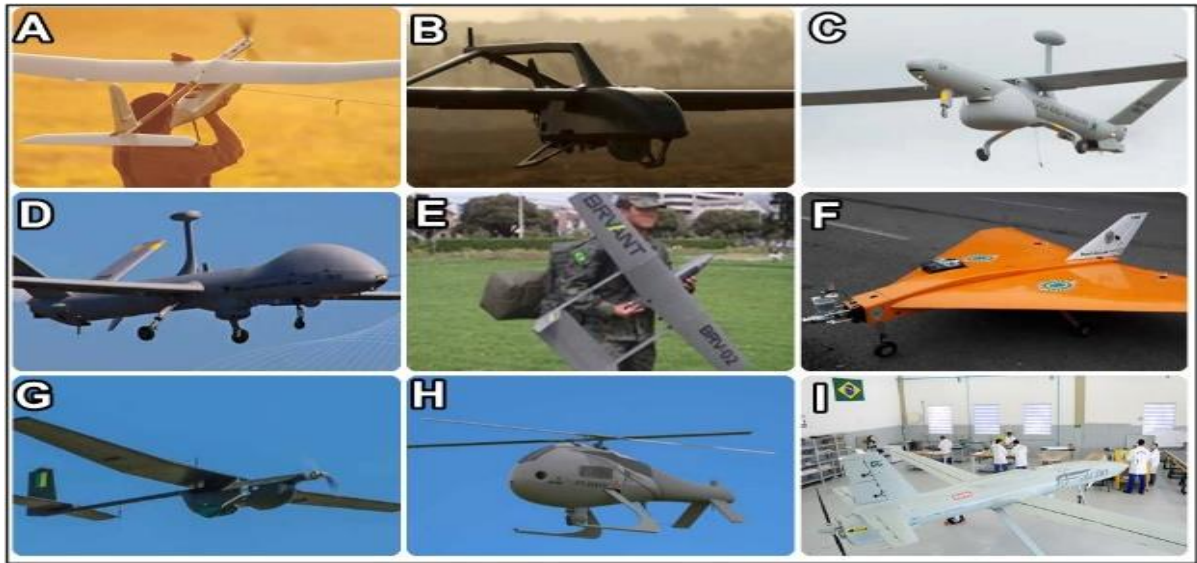


Figura 6. Principais VANTs para uso militar. Skylark (A), Hermes 90 (B), Hermes 450 (C) e Hermes 900 (D), ambos desenvolvidos pela AEL Sistemas; BRV-02 Brvant (E), Soluções Tecnológicas; Delta 55™ (F), Brasil Aircrafts; Horus FT-100 (G) e Vant FT-200FH (H), modelos da FT Sistemas AS; (I) Falcão Avibras. Fonte: SDCI (2017).

Nesse escopo se destaca a aeronave Hermes, que desde sua criação buscou atender a Força Aérea Nacional. Longhitano (2010) destaca as características do VANT Hermes 450, desenvolvido pela *Elbit Systems*, companhia israelense, envolvendo a participação de sua subsidiária no Brasil, a AEL Sistemas. Segundo o autor, a aeronave tem uma autonomia de 15 horas de voo, com um teto de cinco mil metros de altitude. O VANT tem 10 metros de envergadura e voa a 110 quilômetros por hora.

Munaretto (2015) faz uma descrição sobre o modelo Hermes 900, aeronave que substituiu Hermes 450. O autor citou as principais características do modelo, como: peso máximo de decolagem de 1.180 quilogramas; força e a carga útil; o *Payload* 350 quilos, fechando a uma altitude de 9.000 metros. Sua autonomia é de 30 horas. Vale ainda ressaltar os sensores como: electroópticos que incluem sensor *SKEYE* apontador *laser* e equipamentos de comunicação com satélite, radar (SAR). Esses sensores permitem à aeronave realizar patrulhamento marítimo.

Outro projeto que vale dar destaque foi o do VANT “Falcão”. Desenvolvido pela Avibras Indústria Aeroespacial S. A, em parceria com as Forças Armadas Brasileiras, com apoio da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Esse VANT foi o primeiro construído em solo brasileiro, na classe de 800 quilos. Segundo o Relatório de Estudo sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados da Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial (SDCI), o protótipo foi o projeto com o maior investimento da FINEP, cerca de R\$ 100 milhões.

As forças armadas são as maiores interessadas em adquirir aeronaves. Sendo assim, grande parte dos projetos que desenvolveram tem o propósito de missões de tipo ISTAR: de Inteligência, Vigilância, Reconhecimento e Patrulhamento (MUNARETTO, 2015, p. 73).

3.3.2 Modelos de VANTs Civis

O número de empresas que desenvolvem e comercializam esses equipamentos no Brasil cresce exponencialmente. O resultado disso é a grande variedade de modelos que são desenvolvidos e comercializados. Em seguida será demonstrado um mosaico com os principais modelos comercializados no mercado nacional. (Figura 7)

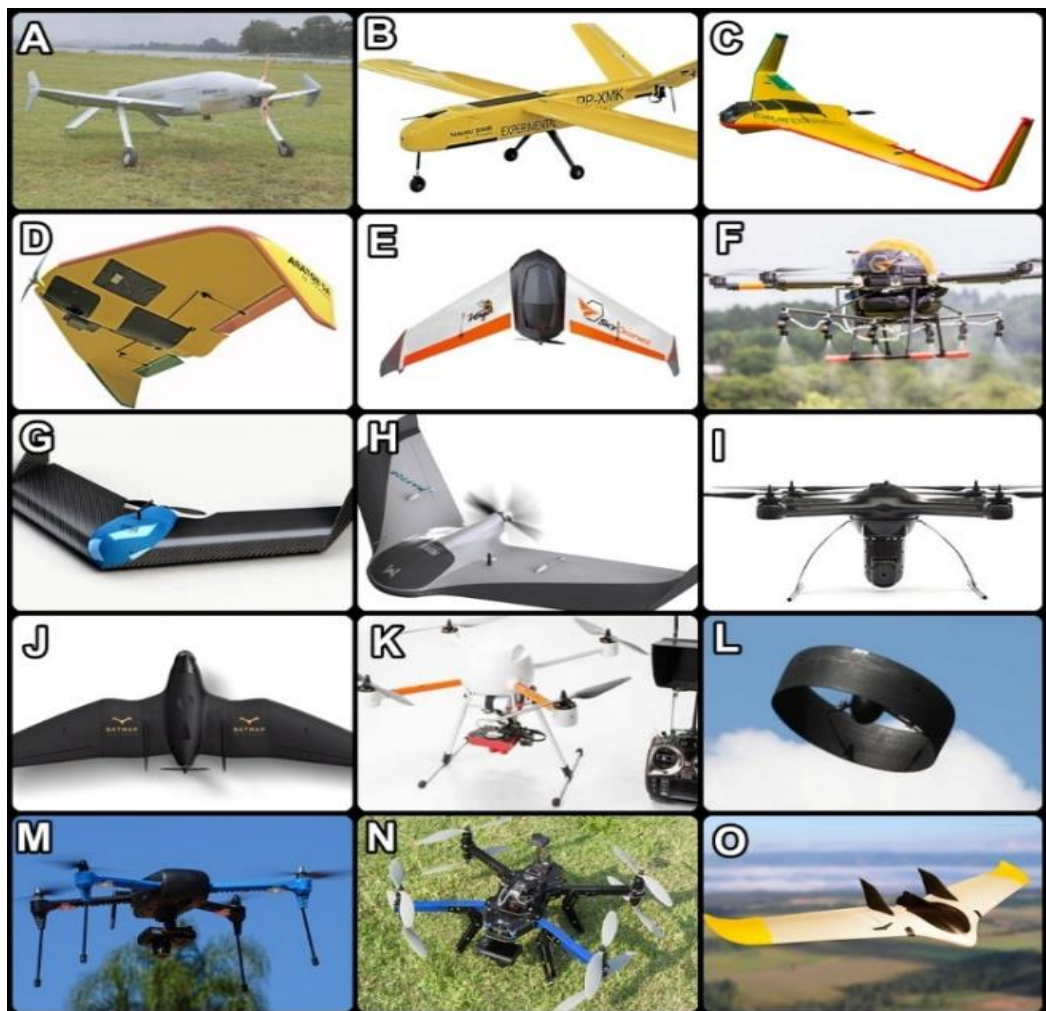


Figura 7. Principais modelos de VANT comercializados no Brasil. Apoena 1000 (A), Nauru 500B (B), Echar 20 B (C) e Arator (D) todos produzidos pela Xrobots; Zangão (E), Pelicano (F) modelos da SkyDrones; Isis (G) eMaptor(H) modelos daHorus Aeronaves; US Spyro (I), Sensormap; Batmap (J),Droneng;Gyro 500 (K), GyroflyInnovations;Orbis(l), Santos Lab; G Quad(M), G octa (N) e G Survy Sv2 (O) modelos da G Drones. Fonte: Estudo sobre a Indústria brasileira e europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados (SDCI, 2017). Adaptadas de sites dos fabricantes: XMobots, Sensormap, Droneng, G Drones, (2016).

Nesse ínterim, a Xrobots fundada em São Carlos em 2007, incubada no Centro de Inovação, Empreendedorismo e Tecnologia (Cietec) e especializada em desenvolvimento e pesquisa para VANTs, também fabrica componentes e aeronaves, além de oferecer treinamentos aos seus clientes (SDCI, 2017). A empresa se destaca no mercado nacional e internacional com suas aeronaves. O APOENA 1000, representado pela letra A, na Figura foi a primeira aeronave civil a operar na Amazônia no ano de 2010. O NAURU 500 A foi o primeiro VANT brasileiro a receber o Certificado de Autorização de Voo Experimental (CAVE), emitido pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), no ano de 2013. O NAURU 500 B e o Echar 20 foram os projetos pioneiros da Xrobots que compuseram uma plataforma elétrica com a capacidade de decolagem e pouso automáticos.

Outras empresas de destaque são a *Gyrofly Innovations* e *Sky Drones*. A primeira, de acordo com Munaretto (2015), foi fundada em 2006 na Incubaero, uma incubadora de empresas e projetos do Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA/DCTA). Em um primeiro momento tinha como seu principal negócio dar suporte ao desenvolvimento de sistemas robóticos para centros de pesquisas e instituições nacionais. Em 2009, com apoio da FINEP, passa a desenvolver suas próprias tecnologias e sistemas, corroborando para o seu primeiro projeto, o Gyro 500. Oferece produtos para serem aplicados em mapeamento e monitoramento agrícola. Já a segunda empresa foi criada em 2010 na incubadora tecnológica UNITEC (Unisinos, São Leopoldo, RS, Brasil). Firmou parcerias com empresas no exterior e universidades nacionais. Seus principais produtos são o Zangão e o Pelicano.

3.4 Composição e classificação de um VANT

Até agora o trabalho demonstra um pouco do histórico no mundo e no Brasil dos Veículos Aéreos Não Tripulados. Além disso, também foi mostrada a variedade de modelos que são produzidas no país. A partir de agora será mostrada a composição e como são classificados dos VANTs.

Antes de comentar sobre os componentes de um sistema, é muito importante que se conheçam os tipos de estrutura física (*Airframes*). Segundo Munaretto (2015), as aeronaves podem ser de asa fixa, asa rotativa (helicóptero e multirrotor) ou dirigível. A figura 6 elucida essa diferença.

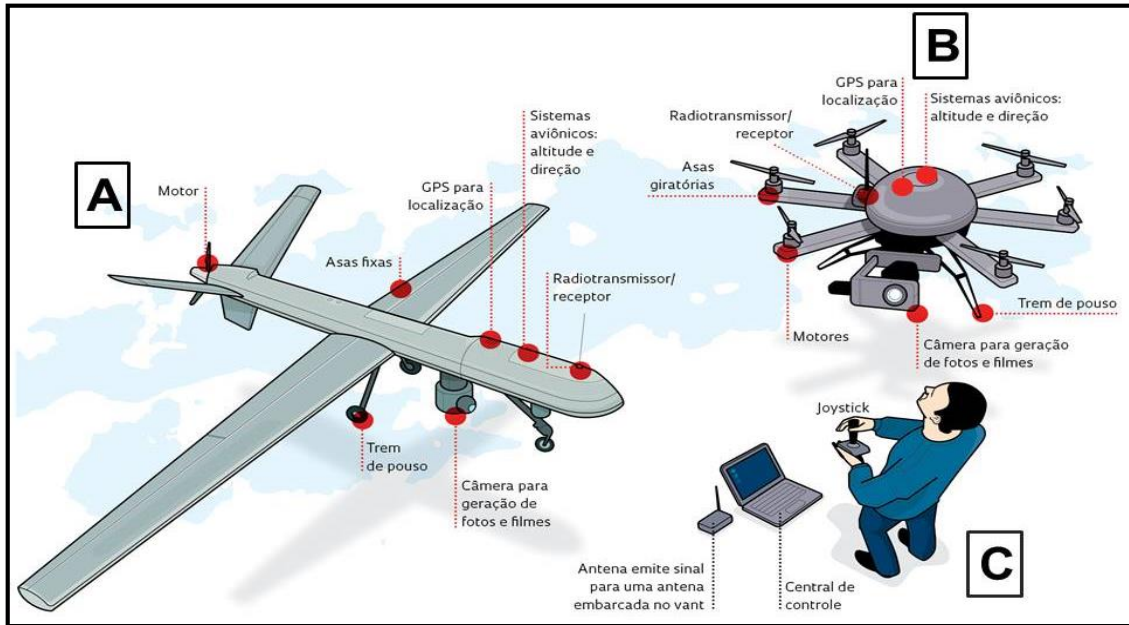


Figura 8. Componentes de um sistema de VANT Asa Fixa (A), Multirotor (B) e Plataforma de Controle (C).
Fonte: Adaptada de Andrade, (2013).

Pela ilustração pode-se perceber de uma forma didática os componentes de uma plataforma VANT: a letra A faz referência ao modelo asa fixa, já a letra B faz referência ao modelo multirrotor. A esse respeito é importante compreender que a arquitetura da qual compõe uma aeronave é dividida em três partes: a primeira construiu um sistema principal, a segunda seus subsistemas e a terceira os componentes. Nessa perspectiva, Munaretto (2015) lista os sistemas e seus grandes conjuntos: a plataforma (asa fixa ou rotativa); Sistema de comunicação; O *Payload* (carga útil do equipamento); Estação de Controle. Para demonstrar melhor as afirmações anteriores, a ilustração a seguir mostra a composição de um sistema VANT.

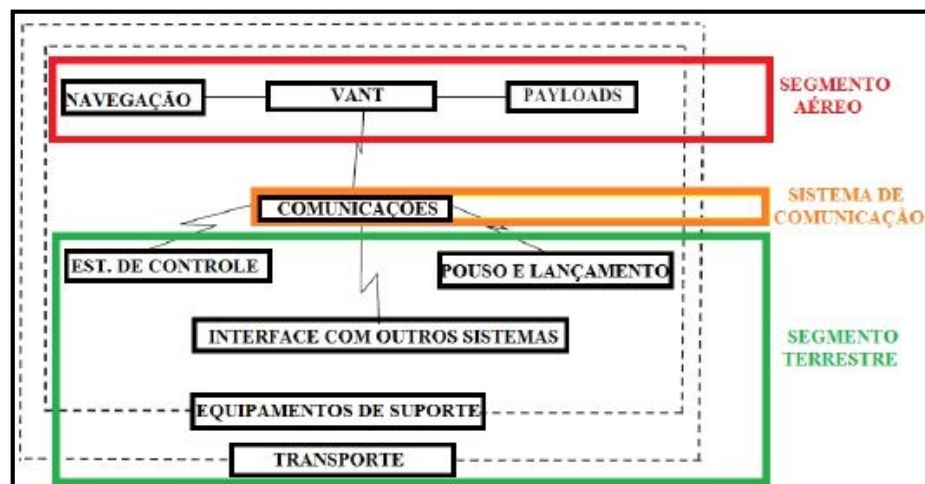


Figura 9. Arquitetura de um sistema VANT.
Fonte: Figueira (2016, p. 14).

Assim pode-se entender que um sistema pode ser composto por segmentos. O segmento aéreo faz referência ao VANT, à guarda útil e ao sistema aviônico de referência e direção. Já a comunicação é responsável por ligar o segmento aéreo com o terrestre. O segmento terrestre, também chamado de base ou estação de controle, é o local onde o operador conduz a missão (MUNARETTO, 2015). A estação deve compor no mínimo controles de manobras para pouso e decolagem. Uma estação de controle mais sofisticada necessita de dois ou mais operadores, ou seja, um copiloto e um auxiliar que terão à sua disposição telas (*displays*) para o monitoramento dos sensores da aeronave e para o acompanhamento da missão (MUNARETTO, 2015).

Também é importante demonstrar como são classificados os VANTs no Brasil segundo a proposta de regulamentação apresentada em 2015 pela Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). Os Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) não autônomos, na qual o piloto remoto tem capacidade de intervir na operação. É importante frisar que a proposta faz uma ressalva acerca das aeronaves autônomas, que estão proibidas no Brasil. Além do mais o documento divide todas as Aeronaves em três classes. Abaixo são listadas as classes no peso máximo de decolagem.

- Classe 1: peso maior que 150 kg;
- Classe 2: peso menor ou igual a 150 kg e maior que 25 kg;
- Classe 3: peso menor ou igual a 25 kg.

Assim, Munaretto (2015) chama atenção para a realidade brasileira, uma vez que no Brasil não existe uma classificação padronizada que inclua todas as aeronaves. Além do mais, o autor diz que ainda não existe um consenso em geral. O que se leva em conta é o peso máximo de decolagem.

Por tudo, fica clara a complexidade de um sistema de uma Aeronave Remotamente Pilotada. Vale resaltar que as nomenclaturas trazem uma certa confusão, uma vez que os órgãos competentes, como ANAC e DECEA, utilizam RPAs para referir as aeronaves. Já a literatura consultada traz o termo VANT, que faz referência a Veículo Aéreo Não Tripulado. Segundo a ICA 100-40, um VANT é uma aeronave que faz voos autônomos sem a interferência humana. Já um RPA pode fazer voos automáticos, porém é controlada remotamente por um operador. Em seguida será feita uma revisão a respeito de alguns conceitos importantes demonstrados na literatura referentes ao monitoramento de processos erosivos, utilizando o sensoriamento remoto orbital e com fotografias tomadas por VANT.

3.5 O monitoramento de processos erosivos

O monitoramento ambiental é um instrumento do gerenciamento ambiental. Segundo Brasil (2012, p. 21), essa ferramenta é utilizada para a realização de observação e medições do ambiente, sendo suas operações contínuas ou periódicas. Além do mais pode representar variável como a qualidade e quantidade de água em um reservatório, o uso ocupação do solo e a cobertura vegetal. Nesse sentido essa ferramenta é inserida na gestão ambiental dos recursos naturais, corroborando com o conhecimento e informações nas políticas ambientais e nas tomadas de decisão. Assim as geotecnologias emergem e tornam-se imprescindíveis para a realização de monitoramentos.

3.5.1 *Sensoriamento Remoto*

O Sensoriamento Remoto é uma ciência ou técnica de aquisição de informação sem contato físico com o objeto. Para Jensen (2009, p. 4) o Sensoriamento Remoto é:

[...] o registro da informação das regiões do ultravioleta, visível e infravermelho e micro-ondas do espectro eletromagnético, sem contato, por meio de instrumentos tais como câmeras, escâneres, lasers, dispositivos lineares e/ou matriciais localizados em plataformas tais como aeronaves ou satélites, e análise da informação adquirida por meio visual. (JENSEN, 2009, p. 4)

Já Florenzano diz que Sensoriamento Remoto é:

A tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície. O termo sensoriamento remoto refere-se à obtenção dos dados, e remoto, que significa distante, é utilizado porque a obtenção é feita à distância, ou seja, sem o contato físico entre o sensor e a superfície terrestre (FLORENZANO, 2007, p.11).

Jensen faz uma discussão mais ampla sobre o tema, conceituando-o como uma ciência que obtém informações sobre um objeto sem estar em contato físico direto com ele. Pode ser usado para medir e monitorar importantes características biofísicas e atividades humanas na Terra. Já Novo (1992) faz uma definição mais tecnológica, afirmando que o Sensoriamento Remoto pode ser entendido como: a utilização simultânea de modernos equipamentos, sensores para processamento dos dados, equipamentos de transmissão, aeronaves, espaçonaves, satélites, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através dos registros e das interações entre as radiações eletromagnéticas e as substâncias componentes do planeta Terra em suas mais diversas manifestações.

A técnica de aquisição de imagens da superfície terrestre por meio de plataforma aérea aparece antes mesmo de serem inventados o avião e os satélites, uma vez que existem relatos de utilização de aves, como pombos e até artefatos, como pipas, entre outros (LONGHITANO, 2010). Porém essa tecnologia foi mais difundida no meio militar como demonstrado por Florenzano (2007), ao afirmar que o Sensoriamento Remoto surgiu com as fotografias aéreas por balões para uso militar. Isso foi aprimorado durante a Primeira e Segunda Guerras Mundiais com a utilização de plataforma com aviões. A autora citada relata o desenvolvimento de sensores de alta resolução para espionagem no âmbito da Guerra Fria. Com o lançamento das primeiras plataformas de satélites, começaram os primeiros registros sistemáticos da superfície terrestre. Vale ressaltar que na década de 70 a Agência Espacial Americana (NASA) lança o primeiro satélite de recursos terrestres, o *Landsat-1*, que a princípio era chamado de ERTS-1 (*Earth Resources Technology Satellite*) (FLORENZANO, 2007).

Nessa perspectiva, para Guerra e Jorge (2013), Sensoriamento Remoto consolidou-se. Logo, as imagens adquiridas por satélites e fotografias aéreas ou radar, têm sido amplamente utilizadas para diversos fins. É irrefutável que o processamento, interpretação e posterior análise dessas imagens vêm se mostrando como instrumento cada vez mais relevante para estudo de processos erosivos, movimentos de massas e áreas degradadas.

3.5.2 Sensores utilizados em plataforma aérea

Longhitano (2010) classifica os sensores conforme sua distância em relação à superfície da Terra. Ela é variável e é classificada em três níveis de altitude: orbital (sensores a bordo de satélites artificiais), aéreo (sensores a bordo de aeronaves) e o de campo/laboratório (sensores implantados em estruturas terrestres). Isso é importante para definir o tipo de plataforma a ser utilizada para o determinado fim. Como o enfoque deste trabalho são os VANTs, serão analisados sensores aéreos a bordo de aeronaves, mais especificamente aeronaves remotamente pilotadas.

Assim a Figura 10 demonstra os tipos de sensores que podem ser utilizados para Sensoriamento Remoto aplicado ao monitoramento agrícola por VANT.

Aplicações	Sensores
<p>Câmeras RGB: detecção falhas de plantio, desenvolvimento da cultura, formação da planta, modelo de elevação do terreno. Olho do agricultor sobre a lavoura. (Visível – VIS - 0.4-0.7 μm)</p>	
<p>Câmeras Térmicas: Detecção de estresse hídrico/irrigação (<i>Short Wave Infrared</i> – SWIR - 1.3-2.5 μm)</p>	
<p>Cameras Multiespectrais: Detecção de estresse nutricional, para determinação de índices indicadores fisiológicos, e estrutura da copa, como NDVI, EVI e outros. (Infravermelho Próximo – NIR - 0.7-1.3 μm)</p>	
<p>Cameras Hiperespectrais: estão sendo desenvolvidos novos índices e métodos visualizando assinatura do espectro refletido e geração de índices espectrais combinados. Usadas para calibração de bandas multi a serem usadas. (NIR + SWIR)</p>	

Figura 10. Tipos de sensores embarcados e respectivas aplicações.
Fonte: Jorge (2008, p.117).

Dessa forma, percebe-se a grande variedade de sensores, que poderiam ser aplicados no monitoramento agrícola. Porém vale destacar que o foco desta pesquisa é aplicação de um Veículo Aéreo Não Tripulado para monitoramento de áreas degradadas por erosão.

Todavia, a ilustração é importante para estabelecer analogia entre os sensores. Esse trabalho fez seus imageamentos no espectro do visível (04 a 07 μm), utilizando uma câmera compacta nas bandas vermelho verde e azul (RGB). A partir da definição de Sensoriamento Remoto e sua aplicação, foram demonstrados alguns sensores que podem ser utilizados para monitoramento ambiental.

3.6 Fotografias aéreas e fotointerpretação

Os primeiros registros da superfície da Terra por câmeras fotográficas foram do Padre Bartolomeu Lourenço de Gusmão, que arquitetou e confeccionou um balão de ar quente, com o intuito de demonstrar Lisboa para o Rei Dom João V. Desde meados do século XIX o homem desenvolve técnicas para a fotogrametria aérea. Segundo NEWHALL (1858 apud BRASIL, 2012, p. 23), as primeiras fotografias aéreas de Paris registradas foram a partir de um balão de ar quente. Posteriormente os pombos começaram a ser utilizados em missões militares de espionagem. A Figura 11 representa as primeiras formas de fotografias aéreas.

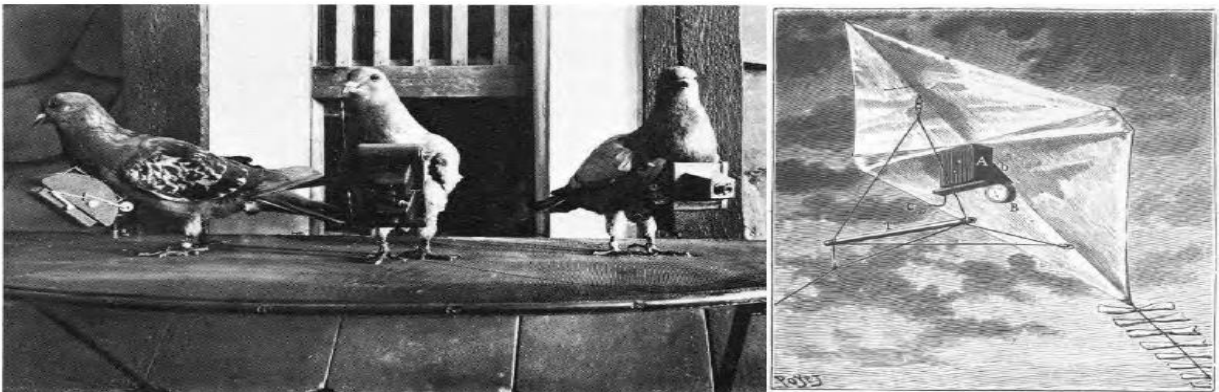


Figura 11. Imagem de pombos e pipa portando câmera fotográfica.
Fonte: Brasil (2012, p.23) apud NEWHALL (1969).

A Figura 12 mostrada uma fotografia panorâmica de São Francisco nos Estados Unidos, após o terremoto de 1906, que foi captada por uma câmera acoplada em uma pipa por John Philip de Lorenz.



Figura 12. Fotografia tirada por John Philip de Lorenz da baía de São Francisco nos Estados Unidos após terremoto de 1906, com a utilização de uma pipa.
Fonte: Longhitano (2010, p.10).

Como é possível identificar na figura anterior, as primeiras plataformas aéreas utilizadas para a aquisição de fotografia da superfície terrestre foram os balões, pipas e até pombos. Longhitano (2010) comenta que o primeiro livro a tratar desse assunto foi escrito por Batut, em 1890. A obra denominada: “A Fotografia Aérea por Pipas,” demonstrou uma técnica que poderia ser utilizada por diversos profissionais como arqueólogos, agrônomos, engenheiros civis e forças militares. De acordo com Moreira (2003 apud MEDEIROS, 2007), as fotografias aéreas podem ser aplicadas a diversas atividades como no planejamento urbano, cartografia, no monitoramento para controle de queimadas e nas atividades agrícolas. Logo percebe-se a variedade de áreas em que as fotografias aéreas podem ser aplicadas. Desse modo, uma fotografia pode conter múltiplas informações. Porém para que isso seja extraído, é preciso utilizar a fotointerpretação. Loch (2008. p, 11) a define como “a previsão do que pode ser visto na imagem”. Complementando, Quackenbush Jr. (1960 apud BRASIL 2012, p. 28) diz que a “fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados”.

Para a Sociedade Americana de Fotogrametria, pode ser definido como o ato de examinar qualquer objeto ou variável a partir de uma fotografia aérea e definir o seu significado. Vale fazer uma ressalva referente à fotointerpretação e fotogrametria para Wolf (1988 apud BRASIL, 2012, p. 28).

Difere-se a fotointerpretação da fotogrametria de acordo com o tratamento do dado. A fotogrametria explora o aspecto quantitativo, observando a acurácia posicional e a geométrica dos objetos, enquanto a fotointerpretação verifica o aspecto qualitativo que está relacionado com a significância do objeto.

Nessa perceptiva, Jesen (2009) afirma que os princípios mais relevantes dessa técnica, são os elementos de interpretação de imagens, que são usados frequentemente pelo interprete quando faz a análise visual de uma imagem. O Quadro 2, mostra esse pensamento.

Quadro 02: Elementos de interpretação de imagens

ELEMENTOS	ADJETIVOS COMUNS(QUANTITATIVOS E QUALITATIVOS)
Localização	Coordenadas X, Y de imagem: coordenadas (X) coluna e (Y).
Tom, cor	Tom de cinza: Claro (brilhante), intermediário (cinza), escuro (negro). Cor IHS= intensidade, matiz (H), saturação.

Tamanho	Comprimento, largura, perímetro, área (m ²).
Textura	<ul style="list-style-type: none"> • Arranjo e disposição característicos de repetição de tom e cor. • Liso intermediário (médio), rugoso (grosseiro), mosqueado, salpicado.
Padrão	Arranjo espacial de objetos no terreno: sistemático, não sistemático ou randômico, linear, curvilinear, retangular, circular, elíptico, paralelo, centripeto, serrilhado, estriado, trançado.
Sombra	Uma silhueta causada por iluminação solar lateral.
Altura/Profundidade/Volume/ Declividade/ Aspectos	Elevação-z (Altura), batimetria-z (profundidade), volume (m ³), declividade, aspecto.
Sítio/ Situação/ Associação	<ul style="list-style-type: none"> • Sítio: elevação, declividade, aspecto, exposição, adjacente a água, meio de transporte, serviços públicos. • Situação: os objetivos estão colocados em uma ordem ou orientação um em relação ao outro. • Associação: fenômenos relacionados est

Fonte: Jensen (2009. p, 135).

Logo pode-se perceber que a fotointerpretação pode contribuir para análise da evolução dos processos erosivos, bem como identificar impactos ambientais que a área de estudo pode estar sofrendo. Em seguida serão demonstrados exemplos de trabalhos utilizando a técnica de monitoramento para fazer análise de áreas degradadas por processos erosivos.

3.7 Monitoramento de processos erosivos utilizando imagens orbitais

Em continuidade da pesquisa, é importante demonstrar algumas técnicas que estão sendo utilizadas no mundo e no Brasil para a realização de estudos em áreas degradadas por erosão. De acordo com Guerra (2005), estudos com erosão já vem sendo feitos há anos, em todo mundo. Assim, várias técnicas e métodos foram desenvolvidos. As pesquisas dependem das condições físicas e ambientais, assim como a humana e financeira. Além do mais, para o propósito e a técnica utilizada para este trabalho é muito importante que se diferencie o monitoramento de experimento, uma vez que os dois acabam gerando uma confusão na

interpretação. Deste modo, Guerra (2005, p. 31) diz que monitoramento são “mensurações sistemáticas de um processo erosivo, sendo necessárias as coletas de dados, em intervalos que podem ser fixos, ou não, dependendo do que está sendo estudado.” Já os experimentos, o autor pontua como sendo “ensaios, que podem ser de laboratório ou não, não havendo a obrigatoriedade de coletas em determinados intervalos de tempo”. Logo, as técnicas que serão demonstradas a partir de agora se referem ao monitoramento de processos erosivos. Assim, a primeira parte do texto refere-se ao monitoramento utilizando imagens orbitais, a segunda parte traz estudos utilizando fotografias aéreas de Aeronaves Remotamente Pilotadas.

Santos e Faria (2011) fizeram o mapeamento e monitoramento de processos erosivos a partir de imagens do satélite *Ikonos*. Seu estudo de caso foi realizado na área urbana do Município de Queluzito (MG). O objetivo do autor era mapear e monitorar a erosão da área urbana do referido município com imagens orbitais multiespectrais com quatro metros de resolução, utilizando uma escala 1: 50.000. Os autores utilizaram a técnica de Sensoriamento Remoto e Fotointerpretação. A referida pesquisa conseguiu identificar entre os principais problemas a ocupação de encostas e processos de erosão em diferentes escalas.

Nessa lógica é importante citar o trabalho de trabalho de Moraes e Pejon (2013), que qual realizou o monitoramento de evolução de processos erosivos e elaborou um inventário das feições lineares, em uma área de 550 km², localizada entre as cidades de São Pedro e Santa Maria da Serra, no estado de São Paulo. A pesquisa de Moraes teve como objetivo principal analisar o potencial de imagens de satélites de baixa resolução para identificar erosões lineares. Por causa da baixa resolução espacial das imagens, os atores conseguiram identificar apenas as erosões maiores. Pode-se perceber a importância de se utilizar o Sensoriamento Remoto com imagens orbitais para monitoramento de processos erosivos. No entanto, dependendo da escala do objeto de estudo, o imageamento orbital acaba sendo falho. Com as novas tecnologias e a miniaturização dos componentes foi possível embarcar uma câmera a uma plataforma área como aviões para fazer levantamentos de áreas. Todavia, esse monitoramento pode sair muito caro. Nesse ínterim as Aeronaves Remotamente Pilotadas acabam aparecendo como uma ferramenta de baixo custo.

3.8 Monitoramento de erosão com VANT

Atualmente, os VANTs estão sendo utilizados em larga escala para fins de pesquisa. Nesse sentido, várias áreas estão buscando programar esse equipamento em seus estudos como, por exemplo: Topografia, Agronomia, Zootecnia, Fotogrametria, entre outros. Também

a Geomorfologia e Geologia estão aderindo essa ferramenta. Os trabalhos a seguir estão relacionados ao uso de plataformas aéreas em pesquisa de mapeamento e monitoramento de erosão.

Assim, é importante mencionar os trabalhos de D'Oleire-Oltmanns, que é uma referência na literatura internacional e também é um pioneiro a estudar fenômenos geomorfológicos com VANT. O primeiro realizou um mapeamento de feições erosivas em uma região agroindustrial ao redor do município de Taroudant, na região do Souss-Massa-Drâa, no Marrocos. O objetivo de D'Oleire-Oltmanns era gerar um modelo digital de superfície da área. Com o ortomosaico pretendeu-se identificar áreas de solo mais árido que não estavam sendo atendidas pela irrigação (D'OLEIRE-OLTMANNNS et al, 2011). Esse trabalho corroborou para outros da mesma natureza. Desse modo, vale mencionar o segundo estudo que D'Oleire-Oltmanns, realizado no ano de 2012. O autor e sua equipe utilizaram imagens orbitais e fotografias aéreas para monitorar uma área de aproximadamente 320 km². Nesse estudo foi feita uma comparação entre o sensoriamento remoto com satélite e fotografias aéreas coletadas de um VANT. As imagens orbitais são de cenas do satélite *Quickbird*. Já as fotografias aéreas foram tomadas do VANT Sirius I. Os produtos gerados do imageamento orbital são de baixa resolução espacial, enquanto o Modelo Digital Superfície (MDS) das fotografias aéreas tinha a resolução de 10 centímetros. A partir do MDS foram extraídos dois ortomosaicos; o primeiro sem pontos de controle e o segundo com pontos de controle. A pesquisa não teve um caráter fotogramétrico, ou seja, não buscou analisar a precisão dos produtos, porém concluiu que os ortomosaicos tinham um nível superior de detalhes da superfície, muito próximo do que foi observado em campo. Segundo D'Oleire-Oltmanns é muito importante gerar produtos com alta resolução espacial, pois com base neles consegue-se realizar uma melhor interpretação dos fatores que estão influenciando no processo erosivo.

No Brasil a utilização de VANTs em pesquisas é recente, porém já estão surgindo trabalhos utilizando essa ferramenta. Nesse sentido, percebe-se a confirmação da potencialidade da tecnologia para mapeamento e monitoramento de processos erosivos. Logo, vale citar Brasil (2012), que utilizou um VANT para monitoramento ambiental com o objetivo de avaliar a aplicabilidade do Sistema Autônomo de Monitoramento Ambiental (SAMA), construído a partir da integração do piloto automático e uma câmera digital em uma plataforma aérea, para averiguação e identificação de mudanças de perfil ambiental, com foco em APPs. Ao longo do estudo, o autor ressalta os pontos positivos, afirmando que o custo operacional é menor se comparado com o imageamento orbital ou aéreo com aviões. Essa

tecnologia permite a realização de levantamentos periódicos, que nesse caso viabilizam a identificação de mudanças no uso e ocupação do solo nas Áreas de Preservação Permanente ou em qualquer área de interesse ambiental.

Embora o referido trabalho não tenha como objetivo direto monitorar processos erosivos, pode-se perceber em alguns momentos da pesquisa o autor relatando a identificação desses fenômenos, principalmente erosões das margens de reservatórios que estão sujeitos a grandes variações de nível. É importante frisar que esse estudo utilizou técnicas de mosaicagem e fotointerpretação. Além do mais, o autor enfatiza a importância da resolução espacial das imagens para a pesquisa.

Também pode-se citar o trabalho de Rodrigues (2016), que realizou avaliação de erosão urbana com um VANT. Esse estudo fez os imageamentos em duas erosões urbanas, uma situada em Goiânia-GO no setor Fonte Nova, Córrego do Capim, e a segunda área foi em Silvânia-GO, conhecida como Lava-pés. De acordo com o autor, essa pesquisa teve como objetivo avaliar a utilização da aeronave como plataforma para a tomada de fotografias aéreas para o mapeamento planialtimétrico. Além do mais, buscou-se analisar a necessidade de utilização ou não de pontos de controle de campo para a geração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e ortomosaico como instrumentos para examinar os processos erosivos. O autor observou que apesar da variação da altitude do VANT durante o imageamento, ao final foi possível gerar o Modelo Digital de Superfície (MDS) e o ortomosaico sem e com pontos de controle. O pesquisador adverte que a conversão de Modelo Digital de Superfície para Modelo Digital do Terreno acabou sendo falha, uma vez que o software não fez a filtragem da vegetação. Porém, onde não se teve vegetação, conseguiu gerar o MDT com propriedade. Os pontos de controle também foram importantes para o georreferenciamento dos produtos.

Após, essa breve revisão na literatura referente ao monitoramento, de processos erosivos, percebe-se que os VANTs podem ser usados para sensoriamento remoto para extração de produtos cartográficos que possibilitem o mapeamento e avaliações de erosões, sobretudo em áreas urbanizadas.

3.9 Erosão hídrica

3.9.1 A definição

A busca de desenvolvimento constante pelas sociedades humanas sempre vai gerar impactos, seja no âmbito rural ou urbano. Um exemplo desses impactos é o mau uso do solo e

da água (SILVA 2003, p. 7). Segundo o referido autor, um dos problemas que acompanham a humanidade desde seus primórdios é a erosão. Nesse sentido, é importante para este estudo definir o fenômeno. Assim, a palavra erosão tem sua origem no latim, no que se refere ao verbo “erodere”, que tem seu significado “escava” (ZACHAR, 1982 apud SILVA, 2003, p.25).

Nesse ínterim, Aciesp (1987, apud SILVA p. 25) define “erosão como o desgaste e ou arrastamento da superfície da terra pela água corrente, vento ou gelo ou outros agentes geológicos”. A erosão do solo é definida como desprendimento e arraste das partículas de solo pela água e pelo vento. A erosão hídrica é mais comum e a que mais gera perdas de solo, ocorre por causa do escoamento superficial terrestre. Segundo o Guia de Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos da Mineropar, a erosão causada pelo escoamento superficial pode ser natural ou acelerada. A erosão acelerada está relacionada à interferência do homem no ambiente natural e à ocupação inadequada do solo. A erosão acelerada ou induzida afeta as áreas agrícolas e urbanas, porém é no âmbito urbano que ela tem efeito devastador, gerando degradação e perda de solo, além do assoreamento dos corpos hídricos. Esses fenômenos trazem riscos à população em recorrência cada vez maior de catástrofes que destroem casas, equipamentos e patrimônios públicos, gerando prejuízos inestimáveis à sociedade. (MINEROPAR, 2010). É importante mencionar Mafra (2005), que define erosão hídrica em uma série de transferências de energia e matéria geradas por um desequilíbrio do sistema água/solo/cobertura vegetal, as quais resultam na perda progressiva do solo.

3.9.2 Tipos de erosão

Nesse momento é importante frisar os tipos e definições de erosão hídrica mais relevantes para a pesquisa. Assim, o quadro 3 foi feito um quadro fazendo um resumo dessas variáveis. Baseado nos conceitos de Araujo et al (2007).

Quadro 3. Forma e definição de erosão hídrica.

Tipos	Definição
Laminar	Remoção uniforme das partículas do solo (primeiro as mais leves, conseqüentemente a parte ativa do solo). Terreno inclinado e pouco permeável.
Ravinas ou sulcos	Formação de canais visíveis, as canaletas sinuosas provocados pela enxurrada.
Voçorocas ou boçorocas	Forma mais espetacular de erosão. Ocasionalmente pela grande concentração de enxurradas que passam ano após ano no mesmo sulco, sendo ampliada pelo deslocamento de grandes massas de solo.

Piping	Erosão subterrânea que contribui para uma maior remoção de material avançando a erosão para o interior do terreno, causando formação de vazios nas cavidades do solo elevando a uma maior degradação.
--------	---

Fonte: Araujo et al (2007, p. 88-89).

3.9.3 Processos e evolução

Como foi mencionado anteriormente, uma erosão é definida como o desprendimento e arraste das partículas de solo pela água e pelo vento. A erosão hídrica é mais comum e também a que mais gera perdas de solo. Ocorre por causa do escoamento superficial terrestre. Nesse sentido pretende-se a partir de agora entender como se dão os processos, as formas e feições de uma erosão hídrica. Sobre os processos convém ressaltar que uma erosão hídrica se dá em três momentos. O primeiro, estágio antes da formação dos sulcos é o *Splash*, que é resultante do impacto que a gota de água tem contra o solo. Esse momento leva a ruptura dos agregados que gera a formação de crosta. A segunda etapa do processo, a infiltração, é o momento que a água adentra os poros do solo. Porém no momento em que o solo fica saturado, se formam as poças. Nesse momento começa a segunda etapa do processo, que é o escoamento superficial da água no primeiro instante em forma de lençol e, em seguida, fluxos lineares. A partir daí a perda de material é maior e conseqüentemente gera um canal e as microrravinas. Além do mais, essa forma pode ou não se ramificar, formando novas ravinas (GUERRA, 2003). De acordo o referido autor, a identificação dos vários estágios de evolução de uma ravina é de extrema importância, já que esse é o momento inicial de um processo erosivo linear.

Nesse sentido, Silva (2003) afirma que erosão linear é quando ocorre a formação de canais de variadas dimensões, o que depende no volume de chuva. O autor frisa que a acumulação de água nesses canais ocasiona o transporte de sedimentos, desde a superfície até as profundidades mais consideráveis, que variam de 0,5 m até 25,0 metros.

Lopes et al. (1987 apud Silva, 2003) ressalta:

A quantidade e o tamanho dos sedimentos transportados na enxurrada são em função da velocidade do escoamento superficial da água e sua turbulência, os quais, por sua vez, são influenciados pela rugosidade superficial, comprimento da rampa, declividade e cobertura do solo.

Assim, identificados os mecanismos que determinam o processo erosivo, é fundamental entender a evolução desse fenômeno e sua distinção. Nessa perspectiva, Oliveira

(2003, p. 58) salienta a importância de se conceituar ravina e voçoroca na tentativa de entender sua dinâmica. Logo, para o autor “ravinas e voçorocas podem ser definidas como canais incisivos naturais que resultam de desequilíbrios naturais ou induzidos pelo homem”. Para fazer a distinção, o autor utiliza o critério de dimensão adotado pela literatura internacional. Assim uma ravina é uma incisão de até 50 centímetros de largura e profundidade. Já uma voçoroca é uma incisão que supera os 50 centímetros de profundidade (OLIVEIRA, 2003).

Para Caseti (2005), a definição de uma voçoroca vai além do critério dimensional, ou seja, esse fenômeno abarca maiores complexidades na sua formação. Logo, o referido autor define:

As boçorocas (designação mais apropriada, considerando a derivação do tupi-guarani – *ib-çoroc* : terra rasgada, rasgão no solo), desenvolvem-se por processos análogos aos dos vales: aprofundam-se por erosão vertical, alongam-se por erosão regressiva e alargam-se por degradação das encostas.

Completando a ideia, o autor cita Leuzinger:

As erosões por boçorocas constituem o estágio mais avançado da erosão, sendo caracterizadas pelo avanço em profundidade das ravinas até atingirem o lençol freático ou o nível d’água do terreno. A intersecção da superfície do terreno com o nível d’água propicia a erosão interna ou ‘*piping*’, que além de promover a remoção de material do fundo e das paredes da boçoroca, pode avançar para o interior do terreno, carreando material em profundidade e formando vazios no interior do solo. Estes vazios têm a forma de tubos (*piping* ou entubamento) que, ao atingirem proporções significativas, dão origem a colapsos ou desabamentos que alargam ou criam novos ramos na boçoroca (LEUZINGER, 1948 apud CASSETI, 2005)

Dessa forma, pode-se perceber que o conceito de voçoroca supera da classificação por dimensão. Uma voçoroca constitui o estágio mais elevado da erosão, sendo caracterizada pelo avanço em profundidade das ravinas até atingirem o lençol freático. Além do mais, o autor chama atenção para formação de *piping*, erosão no interior de voçoroca que contribui para uma maior remoção de material avançando da erosão para o interior do terreno, causando formação de vazios no interior do solo e elevando a uma maior degradação da área.

3.9.4 Feições erosivas

De acordo com Oliveira (2003) e Caseti (2005), as feições erosivas podem ser pedestais, que indicam a ocorrência do deslocamento e movimento de partículas do solo sob o impacto das gotas de chuva (salpicamento).

As formações de feições são formas residuais esculpidas abaixo de um objeto cuja densidade não permitiu a sua remoção;

- Sulcos e ravinas: se formam pelas superfícies de encostas com vegetação relativamente degradada ou no interior de voçorocas. Indicam as rotas de organização do escoamento superficial concentrado;
- Alcovas de regressão: Podem ser observadas sob diferentes condições litológicas e climáticas, podendo ser esculpidas tanto pelo escoamento superficial na forma de filetes subverticais;
- Filetes Subverticais: Essas feições ocorrem geralmente nas paredes das voçorocas esculpidas em materiais pouco coesos;
- Dutos de convergência: São comuns em ravinas ou em sulcos, indicam variações das características mecânicas das coberturas superficiais;
- Marmitas ou panelas: Atuação de fluxo de água na base de um talude ou degrau no interior de uma voçoroca;
- Quedas de areia e torrões: Ocorrem a partir da transformação de materiais inconsolidados do estágio sólido para o líquido. Podem ocorrer a partir de movimentos de massa e da exposição à chuva e a filetes de água;
- Costelas de depressão: Movimento de massa associado com solapamento de talude. Em geral torrões desprendidos de fendas de tração.

Assim percebe-se a variedade de feições que uma erosão pode apresentar. Para este trabalho busca-se identificar algumas feições mais comuns em voçoroca.

3.9.5 *Impacto ambiental e área degradada por erosão*

A complexidade dos impactos ambientais urbanos apresenta um duplo desafio. De um lado é preciso fazer a problematização da realidade e construir um objeto de investigação. Do outro lado está a necessidade de articular uma interpretação coerente dos processos. Nesse sentido, é importante definir o que é impacto ambiental para se entender sua dimensão.

Segundo Coelho (2004, p. 24):

O processo de mudanças sociais e econômicas causado por perturbações (uma nova ocupação e/ou construção de um objeto: uma usina, uma estrada ou uma indústria) no ambiente. Diz respeito ainda à evolução entre formas externas e internas à unidade espacial ecológica, histórica ou socialmente determinada. É a relação entre sociedade e natureza que se transforma diferencial e dinamicamente.

Partindo dessa visão sistêmica, impactos ambientais estão relacionados aos processos sociais buscando entender o segundo conceito importante para essa pesquisa nesse item, que é degradação ambiental. Araújo (2005) faz uma definição a respeito, assim o autor a define como “a degradação das terras envolve a redução dos potenciais recursos renováveis por uma combinação de processos agindo sobre a terra”. Além do mais, esses processos podem ser naturais ou antrópicos.

Nessa lógica pode-se compreender que a degradação ambiental pode estar atrelada de várias unidades da Terra, como atmosfera, vegetação, solo, geologia e hidrologia. Logo a degradação do solo é a mais grave e que também é irreversível, os processos de regeneração do solo são muito lentos. Nesse contexto se insere a erosão. Como foi visto, a erosão é o desprendimento e arraste das partículas de solo pela água e pelo vento.

A erosão hídrica em síntese é o escoamento superficial terrestre, levando a formação de erosão laminar, ravinas e voçorocas. Sendo, portanto, os dois últimos tipos de erosão, mais comuns na área urbana. Além do mais, cabe um alerta referente às técnicas de contenção desses fenômenos. Segundo Salomão (2005), as ravinas e voçorocas se tornam áreas de descarte de lixo, depósito de entulhos da construção civil e até esgoto. Muitas vezes isso ocorre como uma tentativa equivocada por parte da população e o poder público de estabilizá-la. Dessa forma, os resíduos sólidos estão transformando a erosão em um vetor de doenças, ademais, com a chuva, esses fragmentos, depositados no interior da erosão são transportados pela água até chegarem aos corpos de água, causando assim o assoreamento e a poluição.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 A caracterização da área de estudo

O município está localizado na região sudoeste do Estado de São Paulo, fazendo divisa com o Estado do Paraná. Suas coordenadas geográficas são: 22° 58'28'' de latitude sul e 49° 52'19'' de longitude oeste, a uma distância aproximada de 373 km da capital do Estado. Para ilustrar, abaixo foi inserido um mapa que demonstra a localização do município, um recorte da área de estudo.

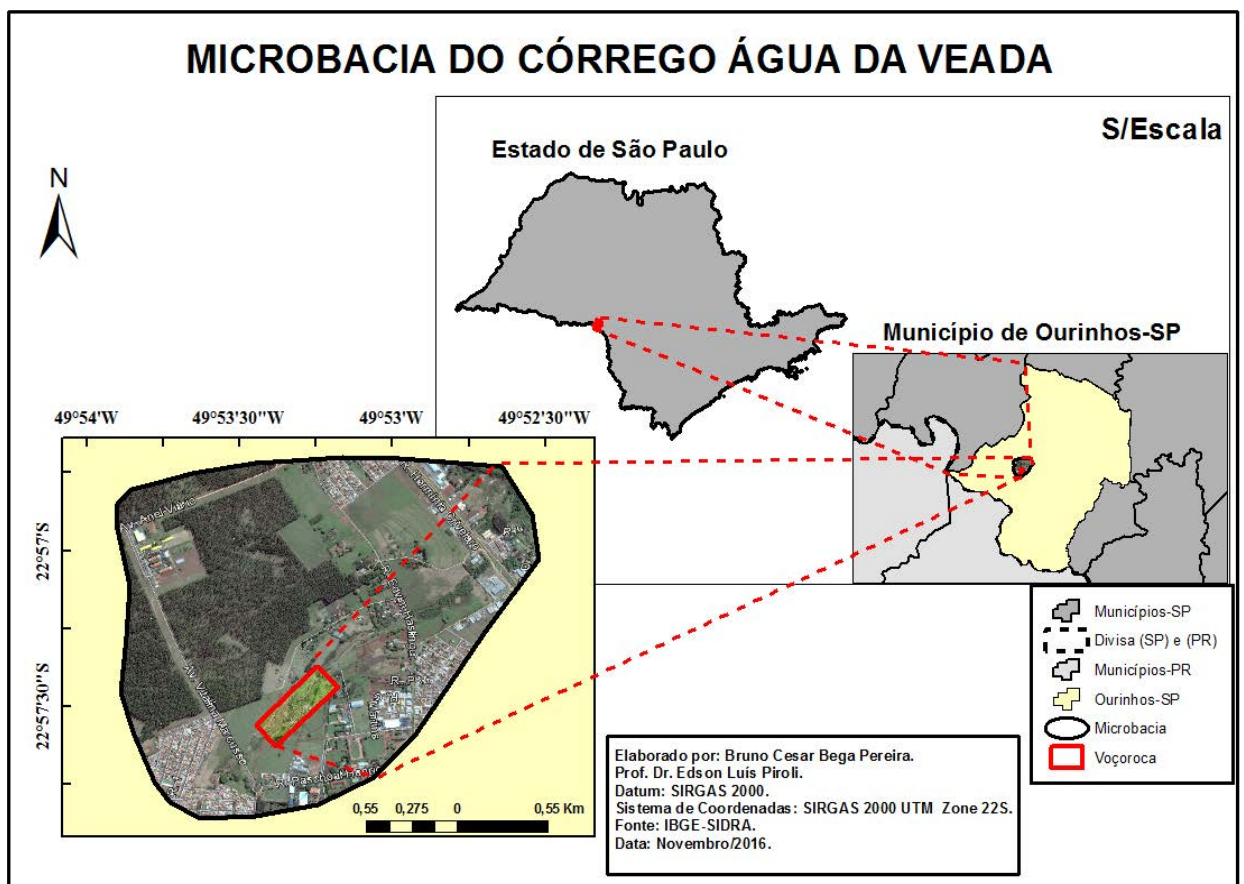


Figura 13. Mapa de localização da área de estudo
Fonte: O autor.

Para uma melhor compreensão, gerou-se um mapa secundário destacando a área de estudo desta pesquisa, que foi delimitada na cor vermelha.



Figura 14. Localização da área de estudo
Fonte: O autor.

No que diz respeito ao Sistema Paulista de Gerenciamento de Recursos Hídricos, Ourinhos se encontra no médio curso do rio Paranapanema (UGRHI-17//Médio Paranapanema). Vale ressaltar que, segundo Laurenti (2012), a malha urbana do município é banhada pelo Rio Pardo ao norte e ao sul pelo Paranapanema. Assim Ourinhos está no interflúvio (483 m de altitude) desses dois rios. Analisando-se a composição geomorfológica, percebe-se que Ourinhos está na unidade morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, na unidade morfoescultural do Planalto Ocidental, mais especificamente no Planalto Centro Ocidental, no qual predominam os modelados de colinas amplas e baixas com topos planos (ROSS e MOROZ, 1997). No que se refere à formação geológica, identificou-se que a área de estudo pertence à Bacia Sedimentar do Rio Paraná, estando no Grupo São Bento na formação Serra Geral no período Jurássico Superior e o Cretáceo Inferior da Era Mesozoica (IPT, 1981). É importante frisar que essa região sofreu um intenso derramamento de basalto, que contribuiu para a formação de solos do tipo de terra roxa. Nesse sentido, os solos predominantes são o Latossolo e o Nitossolo Vermelho (EMBRAPA, 1999). Esses solos têm perfis espessos com mais ou menos três metros de profundidade e de coloração avermelhada (LEPSCH, 2002). No que se refere às características topográficas da área de estudo, a declividade do relevo varia de 5% a 47% e as altitudes variam entre 380 a 540 m

(LAURENTI, 2012). Segundo a classificação de Koeppen o clima da cidade de Ourinhos, é do tipo Am (tropical chuvoso com inverno seco) com uma temperatura média anual em torno de 22,1°C, sendo que a temperatura média dos meses mais frios chega a 18,3°C e dos meses mais quentes atinge 25,1°C. A precipitação média anual do município é de aproximadamente 1356.8 mm havendo uma precipitação média no mês mais seco (agosto) de 41,2 mm e o mais chuvoso (janeiro) de 198,3 mm. (CEPAGRI/UNICAMP, 2016). Por último, a vegetação que se dá pelo bioma de Mata Atlântica, contendo a sua formação original de vegetação Floresta Estacional Semidecidual Submontanha, também conhecida popularmente como Mata Atlântica de Interior (IBGE, 2014).

No que concerne o panorama atual da área de estudo, convém mencionar que o local está muito degradado, pois vem sendo modificado por ações antrópicas e também pela dinâmica natural. Além do mais, a área passou por um processo de recuperação financiado pelo Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), que visava canalizar e aterrar a área. Contudo, o método levou a uma degradação ainda maior, já que para o aterramento foram utilizados entulhos da construção civil. Essas intervenções contribuíram para um aumento no quadro de degradação ambiental. Além disso, os quadros erosivos não foram contidos. E pior, tendo em vista que os entulhos acabaram dirigindo-se para a rede de drenagem, o que acarreta em grande prejuízo à qualidade de vida dos moradores das áreas próximas a jusante da voçoroca, uma vez que esse processo gera acumulação de lixo e pode gerar vetores de doenças. Por essa razão, a área merece uma atenção redobrada, pois os entulhos depositados anteriormente podem se transformar em criadouros do mosquito *Aedes Aegypti* e de mosquitos transmissores de várias doenças.

4.2 Material

4.2.1 Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTS)

Para essa pesquisa foram utilizadas duas aeronaves para fazer os voos. A missão foi dividida em duas partes: o voo de reconhecimento manual, no qual foi utilizado um *Phantom 3 Professional*, e para os voos automáticos foi utilizado um *Iris da 3D Robotics*. A seguir será demonstrada uma imagem contendo as duas aeronaves. (Figura 15).

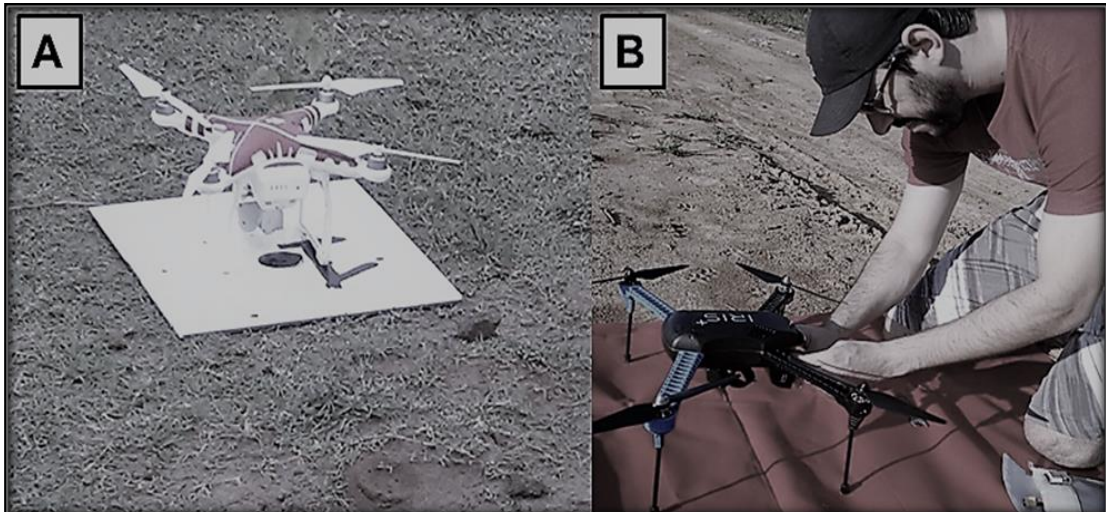


Figura 15. Imagem das aeronaves (A) *Phantom 3 Profissional* e o (B) *Iris 3D Robotics*.

Também é importante apresentar as características das aeronaves que realizaram as tomadas de imagem. Para melhor compreensão foi elaborado um quadro contendo as mais importantes especificações técnicas dos dois modelos de VANTs.

Quadro 4. Especificação técnica.

(A) DJII Phantom3 Profissional	(B) 3D Robotics IRIS+
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso da aeronave com bateria e câmera = 1,28 kg ✓ Dimensões da aeronave montada = Diagonais (incluindo Hélices): 23.2/ 590 mm ✓ Capacidade de carga adicional à câmera e bateria = 0 ✓ Alcance do rádio controle = 5 km ✓ Alcance do groundstation (telemetria) = 5 km (expansível) ✓ Tempo de voo (autonomia) = 25 minutos ✓ Cobertura por voo = 18 há ✓ Opera em ventos de até 25 km/h ✓ Sensor: Sony EXMOR 1/2.3” Pixels efetivos: 12.4 M (pixels totais: 12.76 M) 4K. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Peso da aeronave com bateria e câmera = 1,52 kg ✓ Dimensões da aeronave montada = 0,55 m (envergadura) x 0,28 m (altura) ✓ Capacidade de carga adicional à câmera e bateria = 150 g ✓ Alcance do rádio controle = 1 km (expansível) ✓ Alcance do groundstation (telemetria) = 1 km (expansível) ✓ Tempo de voo (autonomia) = 12 minutos ✓ Cobertura por voo = 18 há ✓ Opera em ventos de até 25 km/h ✓ Sensor proposto: Câmera RGB - Canon 12 megapixels.

Fonte: DJII e 3D Robotics IRIS+ e CANON.

4.2.2 Câmera utilizada para tomada das imagens do voo automático

A câmera para fazer as tomadas de imagem a partir dos voos automáticos. A câmera utilizada foi uma Canon S100, demonstrada a seguir. (Figura 16)



Figura 16. Câmera RGB - Canon 12 megapixels.
Fonte: CANON

Foi elaborado um Quadro 5 para demonstrar, as principais características técnicas da *Canon S100*.

Quadro 5. Especificação Câmera Canon S100

Câmara CANON S100	
✓	Sensor: Tipo CMOS 12.1 megapixels de 1/1.7 polegadas. Pixels totais Aprox. 13.3 megapixels. Efetivos Aprox. 12.1 megapixels.
✓	Distância Focal: 5.2 (W) - 26.0 (T) mm (equivalente - filme de 35mm: 24 – 120mm)
✓	Sistema de Auto Foco: TTL, Manual. Gravação em standby apenas em modo vídeo.
✓	Abertura Máxima: f/2.0 (W) - f/5.9 (T) Velocidade do Obturador: 1-1/2000 seg.15-1/2000 seg. velocidade de alcance total do obturador).
✓	Dimensões (L x A x P): 3.90 x 2.34 x 1.05 pol. / 98.9 x 59.8 x 26.7 mm. Peso: Aprox. 6.98 oz. (198 g) (incluindo bateria e cartão de memória). Aprox. 6.10 oz. (173 g) (só o corpo).

Fonte: Canon.

4.2.3 Plataforma de controle para execução dos voos automáticos

Para a plataforma de controle foram utilizados um computador portátil marca HP modelo 1000 e um rádio modelo FS-TH9X v2 (915 MHz or 433 MHz).

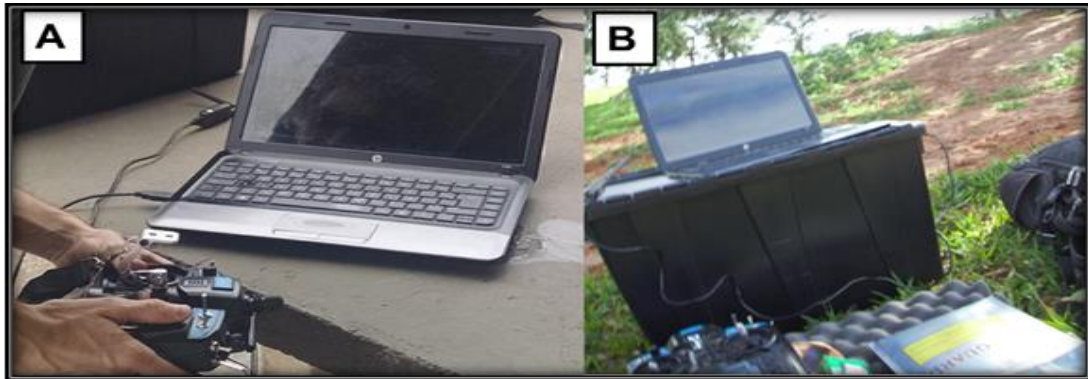


Figura 17. Plataforma de controle. A imagem demonstra o Rádio controle sendo calibrado antes do voo e o rádio utilizado.

Para fazer os voos automáticos, a aeronave e o rádio foram conectados ao *software Mission Planner*, que é um software de planejamento de voos. É importante ressaltar que ele é de código aberto, o que permite fazer a programação e calibração do rádio direto na placa controladora *ARDUPILOT*. Abaixo será mostrada uma imagem da tela do *software*.



Figura 18. Tela do *Mission Planner* após a realização do voo. Adaptação: O autor.

4.2.4 Método de coleta dos pontos de controle

Para fazer o georreferenciamento das imagens, foram utilizadas uma estação GNSS e o Método de Posicionamento *Real Time Kinematic (RTK)*, nas coletas de coordenadas dos pontos de controle. A seguir é demonstrada a base da estação GNSS sendo instalada.



Figura 19. Instalação da base do receptor do GNSS.

O modelo utilizado no levantamento dos pontos de controle foi uma *Promark 700*. O Rover *Promark 500*, o Rádio *Pacific CrestPdl 450-470 Mhz* e a coletora é *Mobile Mapper 10*. É importante explicar que no método de posicionamento *Real Time Kinematic (RTK)* são utilizados, basicamente, dois GPS L1/L1, um rádio VHF e uma coletora, proporcionando assim a coleta pelo método, conforme a Figura 20 a seguir.

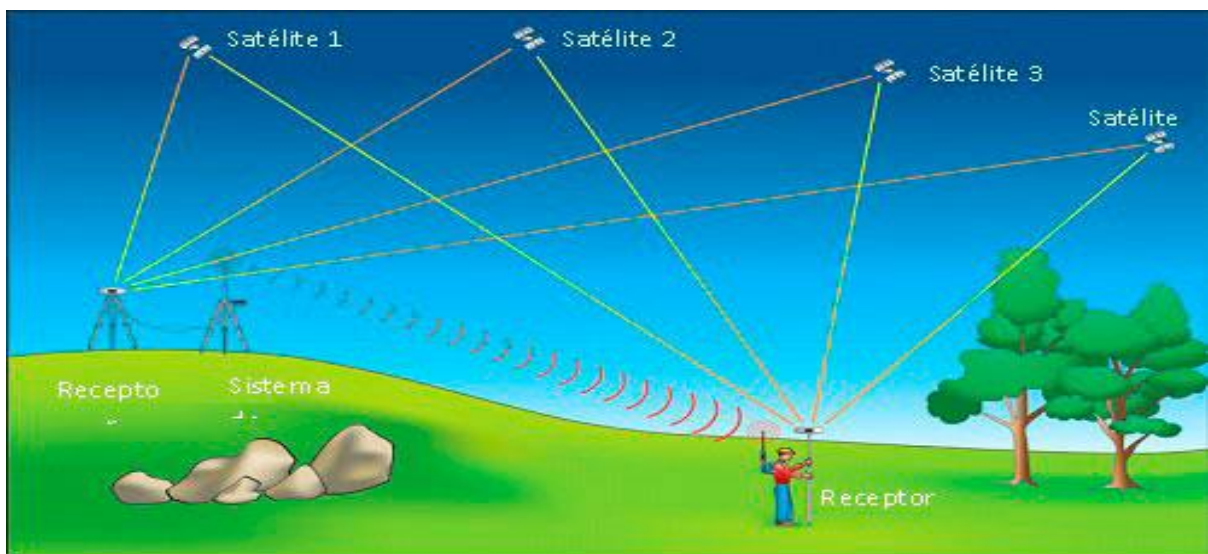


Figura 20. Demonstração do método de posicionamento *Real Time Kinematic (RTK)*.
Fonte: Alezi Teodolini (2016).

De acordo com Rodrigues (2016), no método RTK são utilizados, no mínimo, dois receptores, sendo um deles denominado base ou estação de referência, instalado em um local de coordenadas conhecidas. O segundo equipamento é receptor, chamado de móvel ou rover. É posicionado no ponto de interesse do usuário, no qual se deseja conhecer as coordenadas. Vale citar que esse método é utilizado quando se deseja conhecer as coordenadas precisas de um ponto, com correção em tempo real. Além do mais, a técnica permite determinação de coordenadas com precisão centimétrica. Algumas áreas já estão empregando o RTK em seus levantamentos topográficos como: Engenharia Civil, agricultura de precisão, Engenharia Florestal e agora as aeronaves remotamente pilotadas para fazer o georreferenciamento de seus produtos.

4.3 Procedimentos metodológicos

Esta pesquisa teve caráter exploratório, uma vez que proporcionou uma maior familiaridade com o problema que propiciaram uma melhor compreensão do problema e ampararam os levantamentos bibliográficos. Também vale ressaltar que o estudo teve sua etapa *in loco*. Além do mais, buscou uma abordagem qualitativa e quantitativa, uma vez que buscou um acompanhamento sistemático voltado para a compreensão das estruturas e dos processos.

4.3.1 Planejamento e execução do voo

O planejamento de voo se desenvolveu em três momentos: O primeiro foi o trabalho de campo, o segundo foi a constituição das linhas e a sobreposição, e o terceiro a execução.

Na primeira etapa realizaram o reconhecimento da região e os registros fotográficos. Com o intuito de se compreender melhor a dinâmica ambiental do local, área de estudo foi dividida em quatro segmentos que foram denominados de: montante, cabeceira, trecho médio, foz. Assim, as tomadas de fotografia em solo tiveram como referência pontos estrategicamente escolhidos dentro da área de influência de cada segmento. Essa divisão pode ser constatada na Figura 20. Também a partir do trabalho de reconhecimento em terra, buscou-se estipular a extensão da área do imageamento, assim como a escolha do ponto para decolagem e pouso da aeronave, conforme a Figura 21.



Figura 21. Área de estudo fragmentada em segmentos, polígonos representando as áreas de influência.
 Fonte: *Google Earth* (2016) adaptado pelo autor.

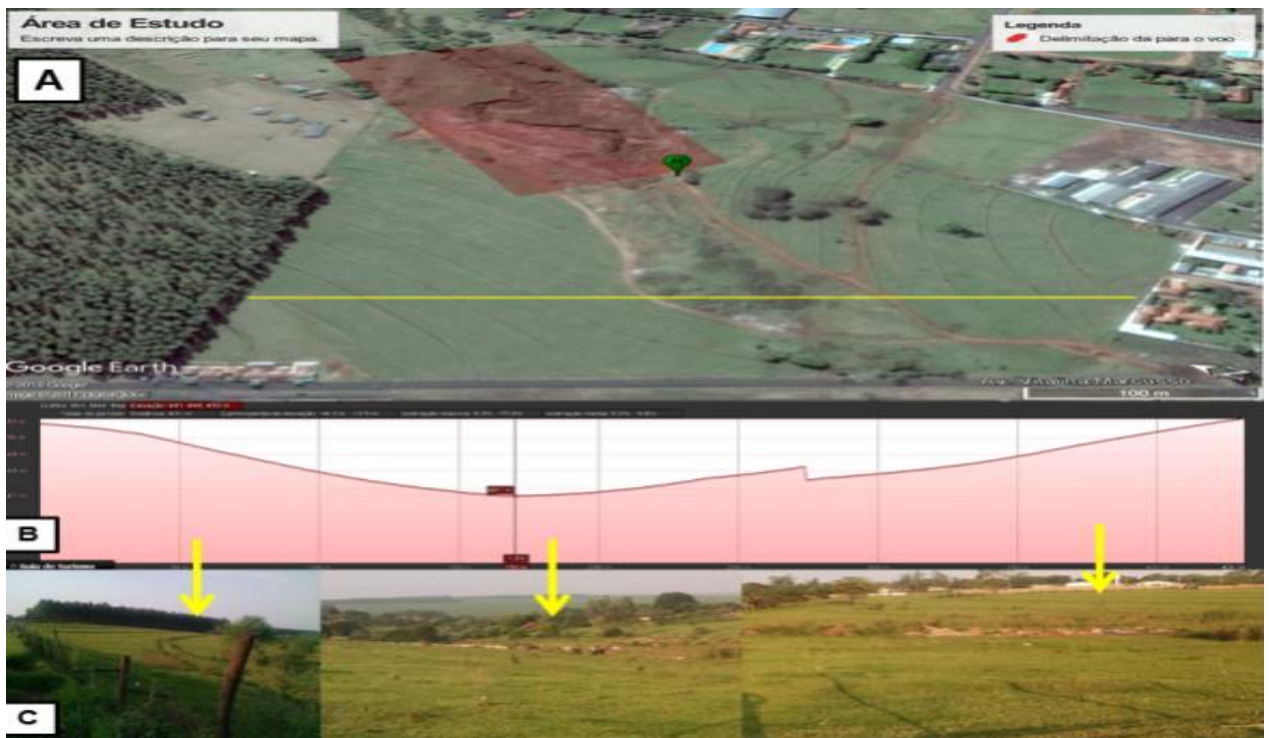


Figura 22. Imagem de Satélite demonstra a área de voo delimitada com polígono vermelho, e local de pouso e decolagem da aeronave com marcador em verde, (A). Representação do perfil altimétrico do terreno, (B). Fotografias demonstrando as vertentes e o fundo de vale, (C).
 Fonte: *Google Earth*, adaptado pelo autor.

Cumprido ressaltar que a linha traçada em amarelo na primeira imagem representa a faixa de análise pelo *software Google Earth* para a constituição do perfil altimétrico e as coordenadas no *software* estão referenciadas pelo Datum ao WGS84, que são compatíveis com as SIRGAS 2000.

Para a elaboração das linhas de voo foram utilizadas técnicas de aerofotogrametria. Apesar de o trabalho não ter um caráter fotogramétrico, precisou-se recorrer a esses métodos. Assim essa etapa se iniciou com a realização dos cálculos. A primeira variável levada em consideração foi a resolução espacial do pixel no terreno. É importante frisar que o termo pixel é de origem inglesa (*Picture element*) e representa a menor unidade de uma imagem digital, que define sua resolução (ESTEIO, 2008). São nos pixels que são armazenados valores que formam a imagem, ou seja, cada um contém um valor ponderado de toda a energia refletida correspondente à sua área no terreno.

Nesse ínterim, é importante citar Santos (2013, p. 112), que destacou a importância da resolução espacial do pixel no terreno.

Quando tratamos de imagens aéreas da superfície terrestre por meio de sensores digitais aerotransportados, o detalhe mais importante para a definição da precisão e acurácia com que necessitamos obter o produto cartográfico não é a escala da foto e a altitude de vôo, como no caso de câmeras aéreas convencionais, e sim o tamanho ou resolução espacial do pixel no terreno, também conhecido como GSD (em inglês, *Ground Sample Distance*).

É pertinente esclarecer que quanto menor for a resolução espacial do pixel no terreno, maior será a resolução da imagem. Em outras palavras, melhor será a definição dos objetos (ESTEIO, 2008). Partindo desse princípio e da necessidade de se chegar a um melhor nível de detalhamento das imagens, essa pesquisa decidiu optar por um GSD pequeno, de aproximadamente três centímetros, ou seja, cada pixel da imagem corresponde a três centímetros no terreno. É importante explicar que para atingir melhor detalhamento dos objetos em solo, o GSD precisa ser relacionado à altura do voo. Apesar de o *software Mission Planner* conceber as linhas de voo automaticamente, estipulando a altura e a resolução do pixel no terreno, assim como a sobreposição por meio de um algoritmo. Esta pesquisa optou pelo caminho manual, ou seja, realizado os cálculos e posteriormente inserindo-os no programa. A Figura 23 a seguir demonstra o cálculo de altura de voo a partir da estimativa de um GSD.

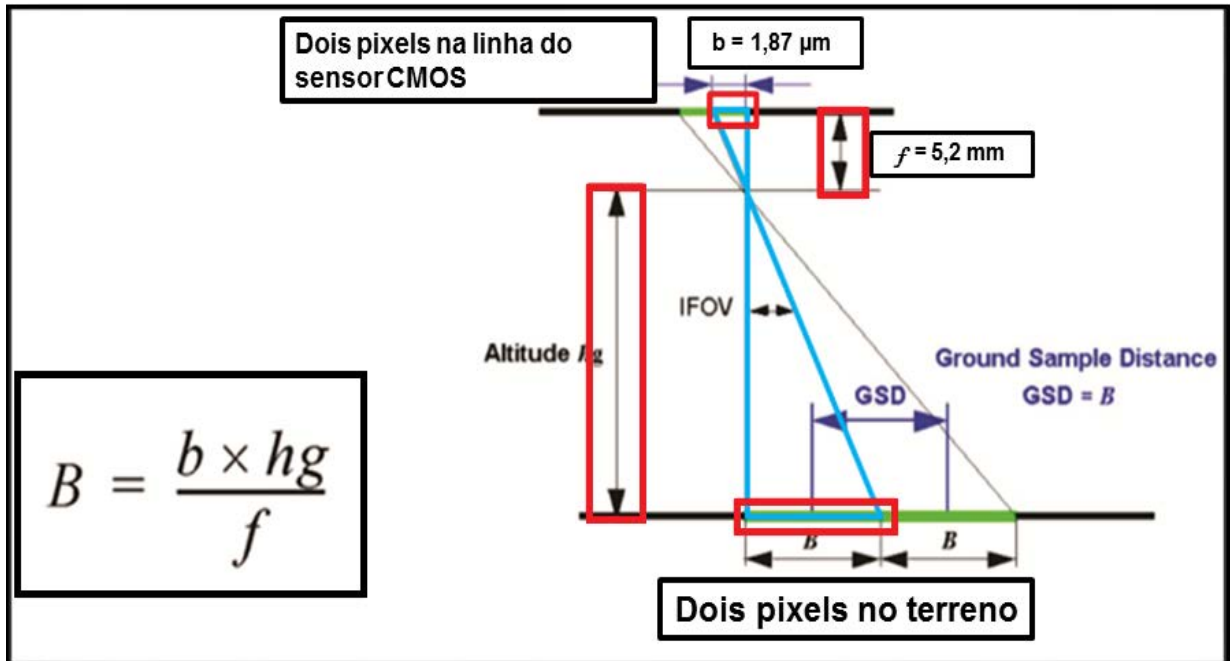


Figura 23. Cálculo de voo.
Fonte: Esteio (adaptado pelo autor).

O quadro anterior mostrou uma constante entre o pixel do sensor e pixel do terreno por meio de uma relação trigonométrica, uma vez que os dois triângulos representados pela cor azul ciano têm os lados com medidas proporcionais e ângulos congruentes, ou seja, correspondem e são iguais nessa relação. Assim é possível correlacionar seus vértices, conforme a forma demonstrada a seguir.

$$\frac{\text{Pixel}}{\text{GSD}} = \frac{\text{Dist.Focal}}{\text{altura de voo}} \Rightarrow \text{Altura de voo} = \frac{(\text{Dins focal} \cdot \text{GSD})}{\text{Pixel}}$$

Logo foi estipulada a altura do voo, partindo da seguinte fórmula e os parâmetros da Câmera S100:

$$H = \frac{(\text{Dins focal} \cdot \text{GSD})}{\text{Pixel}} \quad H = \frac{(0,052 \cdot 0,03)}{0,00000187} \quad H = 80 \text{ m}$$

Tamanho do pixel: $1,87 \mu\text{m} = 0,00000187 \text{ m}$;

Distância focal: $5,2 \text{ mm} = 0,0052$;

GSD: $3 \text{ cm} = 0,03$;

Altura de voo 80 m .

Ademais, foram calculadas as distâncias de linhas de recobrimento laterais e longitudinais, já que para aerolevantamentos com aeronaves tripuladas o recobrimento

indicado para linhas laterais é de 30% e para as longitudinais é de 60% (REDWEIK, 2007, p. 6).

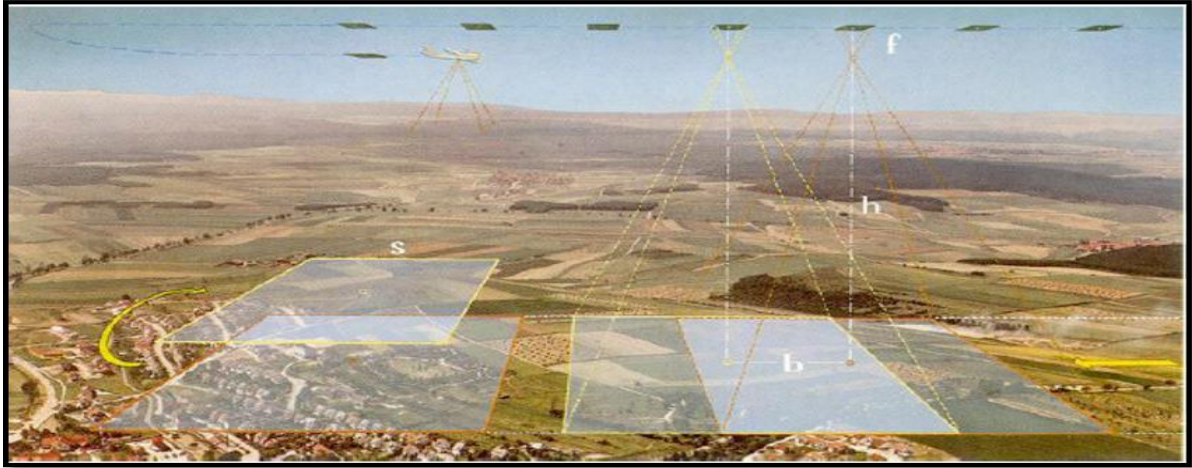


Figura 24. Sobreposição.
Fonte: Redweik (2007).

Para complementar essa informação, Tommaselli (2009) demonstra as linhas de voo e a sobreposição:

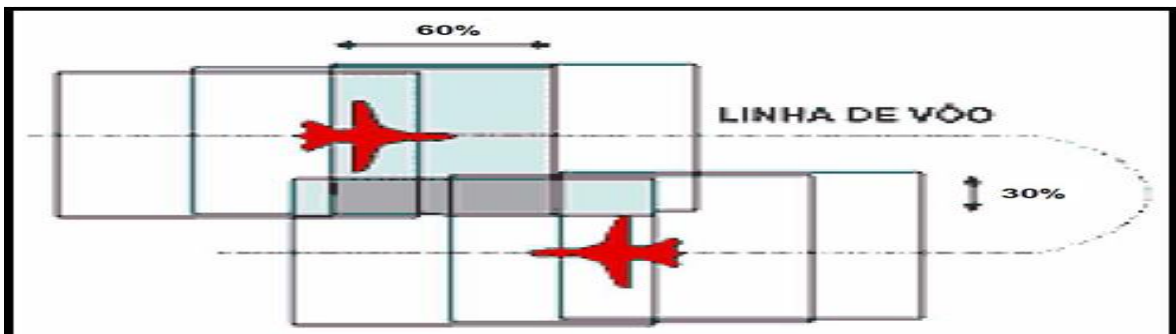


Figura 25. Linhas de voo e sobreposição laterais e longitudinais de levantamentos aerofotogramétricos.
Fonte: Adaptado de Tommaselli (2009, p. 07).

Para este trabalho, a sobreposição indicada na literatura é insuficiente, principalmente por causa da instabilidade da aeronave. Além do mais, por influência do vento pode-se ter fortes turbulências, podendo gerar desnível de altitude, assim como sair da linha de voo. Por tudo isso, decidiu-se utilizar uma sobreposição de 60% lateral e 60% longitudinal. Assim foi possível fazer o recobrimento total da área de estudo sem falhas no produto final. De posse desses parâmetros foram inseridas as informações no *software* de planejamento de voo *Mission Planner*. A Figura 26 a seguir mostra o mosaico constituído das principais telas de configuração do programa.

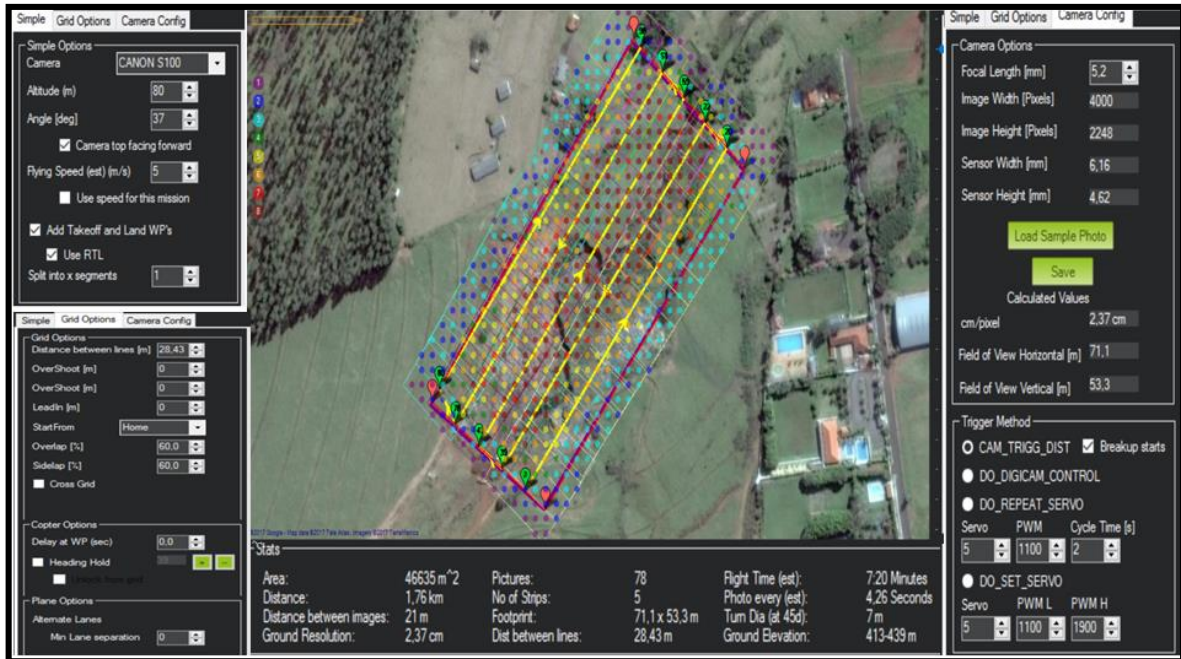
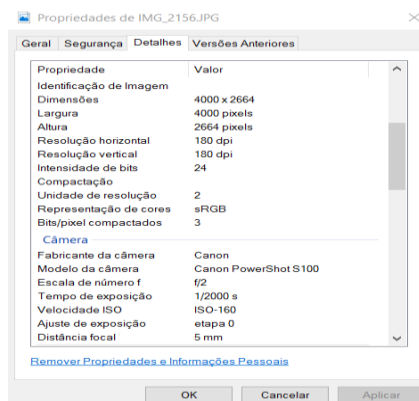


Figura 26. Telas do *Mission Planner* parâmetros do voo.

Fonte: *Mission Planner*, adaptado pelo autor.

Foram realizados seis voos sendo três automáticos planejados no *Mission Planner* e dois manuais guiados pelo operador. Os voos aconteceram nos dias 26 de fevereiro 2016, 26 de julho do mesmo ano e o em 26 de fevereiro 2017. Os voos foram executados no mesmo horário, ao meio-dia, com o intuito de aproveitar o “sol a pino”. Além disso, os imageamentos programados tiveram uma resolução de três centímetros em média, na altura de 80 metros, na velocidade 6 m/s com a duração de 07: 20 minutos. A faixa de sobreposição adotada é de 60% lateral e 60% longitudinal. A câmera utilizada no imageamento automático foi uma Canon S100 e um sensor CMOS de 12,1 MP de alta sensibilidade RGB. A seguir serão demonstrados os parâmetros da câmera.



Quadro 6. Parâmetros da câmera EXIF.

O primeiro voo ocorreu em fevereiro 2016, foi realizado com a aeronave IRIS+3D *Robotics*, planejado e executado em uma plataforma automática, o mesmo teve como fim o reconhecimento da área de estudo. Posterior ao voo realizou-se o primeiro levantamento fotográfico em solo.

Em julho de 2016, foi realizado dois aerolevantamentos, o primeiro executado com uma aeronave *DJI Phantom3 Professional*, conectado e uma plataforma de controle manual, sendo guiado pelo piloto, a uma altitude de aproximadamente 30 metros com intuito de registrar detalhes das feições erosivas. Além disso, procurou examinar com maior exatidão os impactos gerados pelos entulhos nas margens. A trajetória do voo pode ser evidenciada Figura 27.

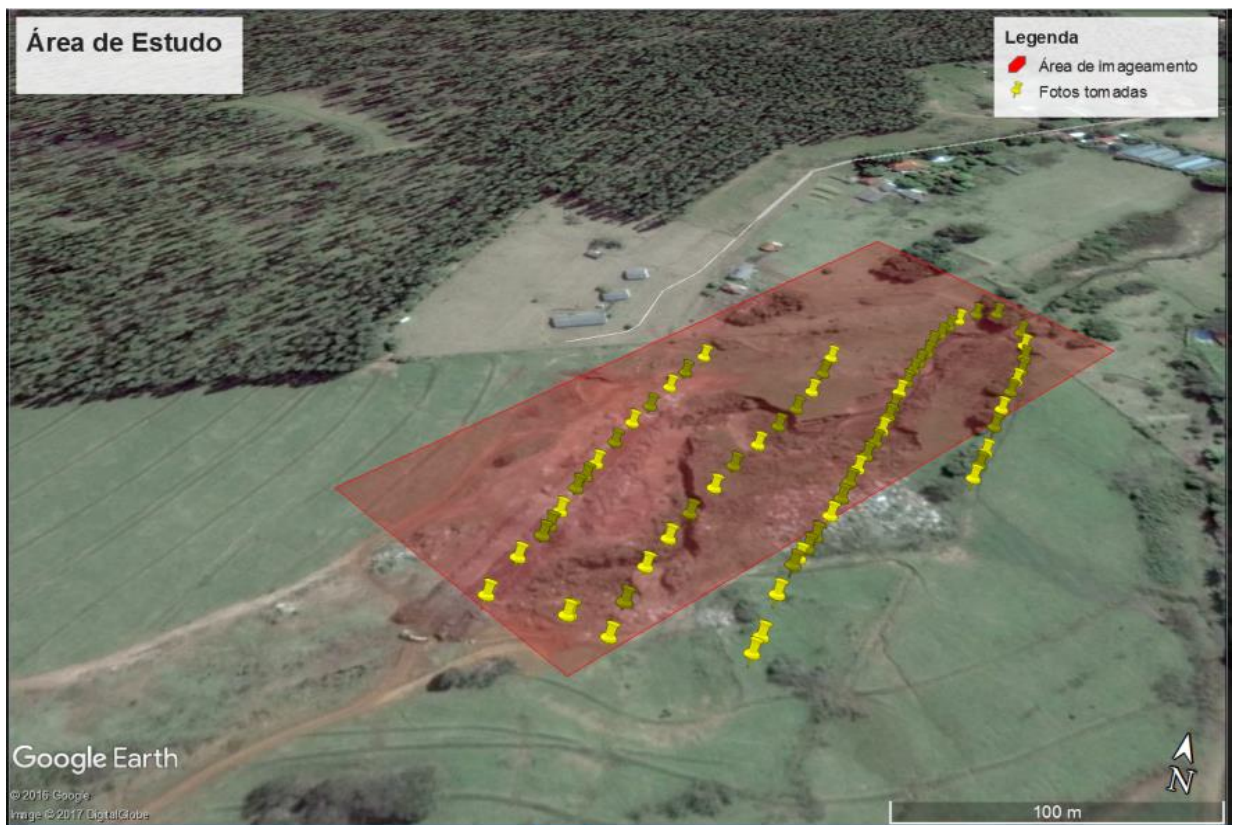


Figura 27. Linha de tomada de fotos com o *DJI Phantom 3 Professional* voo manual.
Fonte: *Google Earth*.

O segundo imageamento ocorreu em duas etapas, à implantação de alvos pré-sinalizados no solo que serviram de pontos de controle. Os pontos foram coletados com uma estação GNSS *Promark 700*, aparada pelo *Rover Promark 500*, o rádio *RTK Pacific CrestPdl 450-470 Mhz* e a coletora *Mobile Mapper 10*. A localização dos mesmos são mostrados na Figura 28.



Figura 28. Demonstração do local dos pontos de apoio em solo.
Fonte: *Relatório do Photoscan.*

Em seguida ocorreu com execução do voo automático com o VANT IRIS+3D *Robotics*, sendo programado no *software* de planejamento mencionado na Figura 26.

A última parte do *in situ* ocorreu em fevereiro de 2017, Foram realizados mais dois voos, um manual e o outro automático. Os produtos gerados a partir deles serviram de parâmetros para a análise das transformações temporais da área de estudo.

4.3.2 *Processamento dos dados*

A etapa de processamento dos dados foi dividida em dois momentos: o processamento das imagens no *Agisoft PhotoScan* versão 1.2.4, em um computador com processador Core I7, 6° Geração, com 16 GB de memória RAM e uma placa de vídeo *NVIDIA GEFORCE 4GHZ*,

da empresa de mapeamento por meio de VANTs, denominada G Drones de São Paulo, capital. Na segunda foram elaborados os *layouts* dos produtos com o *Software* ArcGIS 10.3, no Laboratório de Geoprocessamento da UNESP - Campus de Ourinhos.

É importante salientar que os procedimentos utilizados no *Software* de processamento *Agisoft PhotoScan* para elaboração do Modelo Digital de Superfície, assim como o mosaico de ortofotos estão descrito nos trabalhos como: Longhitano (2016); Ferreira et al (2013); Barbosa; Pereira (2017). Baseado na metodologia proposta pelos referidos autores, foi elaborado um fluxograma conforme a imagem a seguir. Figura 29.

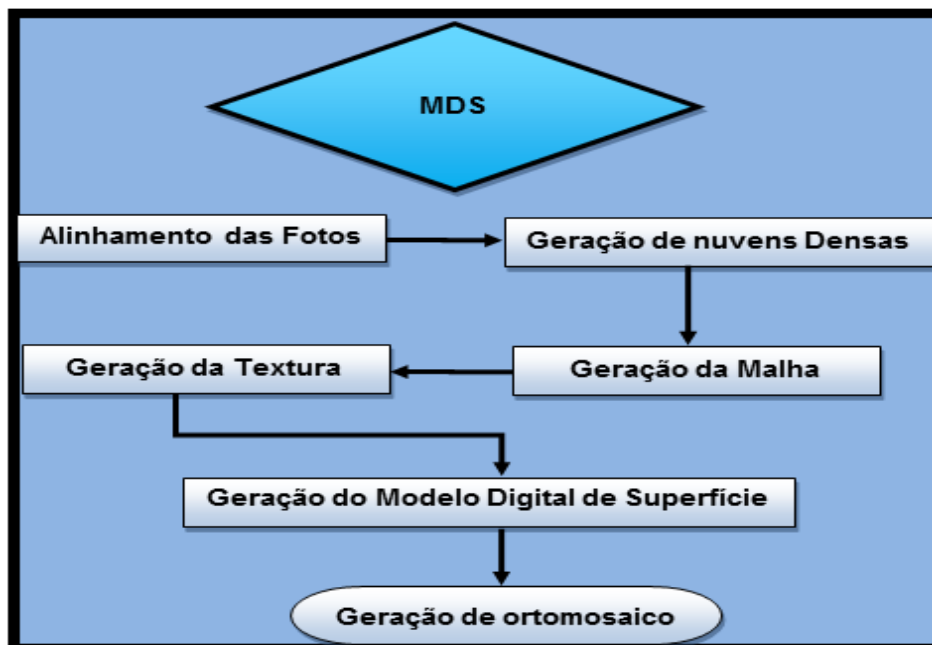


Figura 29. Fluxograma dos procedimentos realizados no *Agisoft PhotoScan*
 Fonte: Longhitano (2016), Ferreira et al (2013) e Barbosa e Pereira (2017). Adaptado pelo autor.

É do processamento que será gerada a base cartográfica para a geração dos layouts posteriormente. Sendo assim, a primeira tarefa realizada é o alinhamento das fotos, que busca os pontos homólogos entre as imagens e a criação dos chamados “*tie points*” ou ponto de amarração. Sua principal finalidade é fazer a ligação entre as imagens. Na sequência são geradas as nuvens densas (*DenseCloud*). A formação da nuvem de pontos ocorre a partir da correspondência dos pontos homólogos e o ajustamento das fotografias. Em outras palavras, da fototriangulação ocorre à correção da posição das fotografias em relação os pontos homólogos rastreados anteriormente. A seguir será demonstrada uma tela do software com a nuvem densa em evidência. (Figura 30)

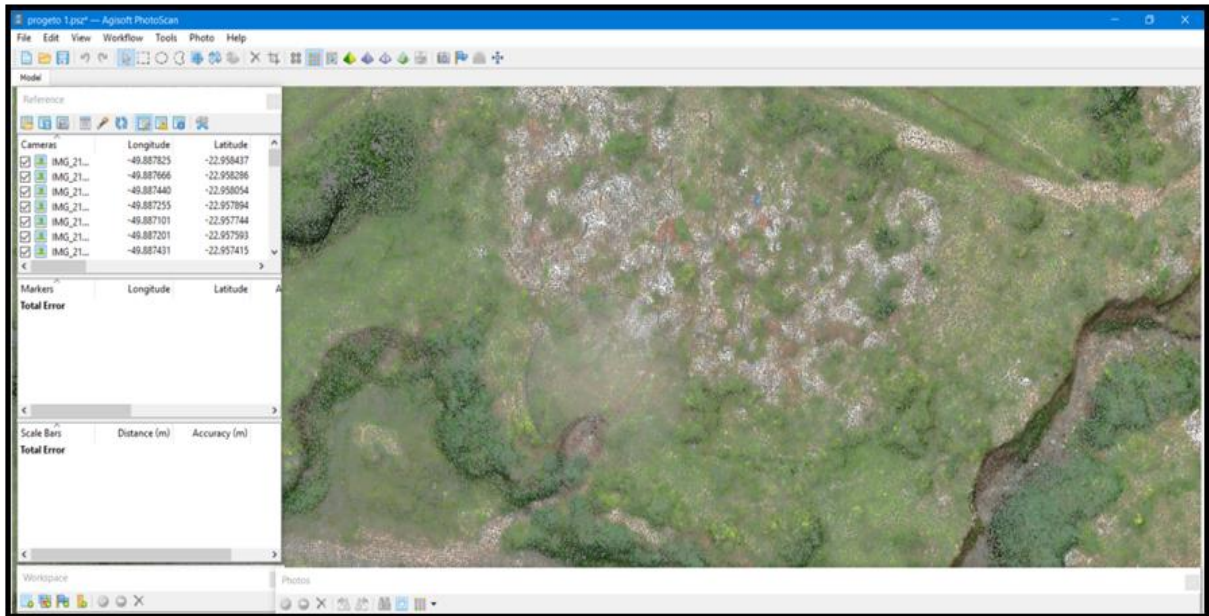


Figura 30. Demonstração de nuvens densas da erosão.
Fonte: Software Agisoft PhotoScan.

A próxima rotina realizada no software é a geração da malha (*Build Mesh*) ou rede de triangulação. Nesse caso são organizados os postos para posterior geração do modelo digital de superfície, que é a etapa anterior à geração de ortofotos. Para ilustrar, a imagem a seguir mostra a tela do programa com o *Build Mesh*. (Figura 31)

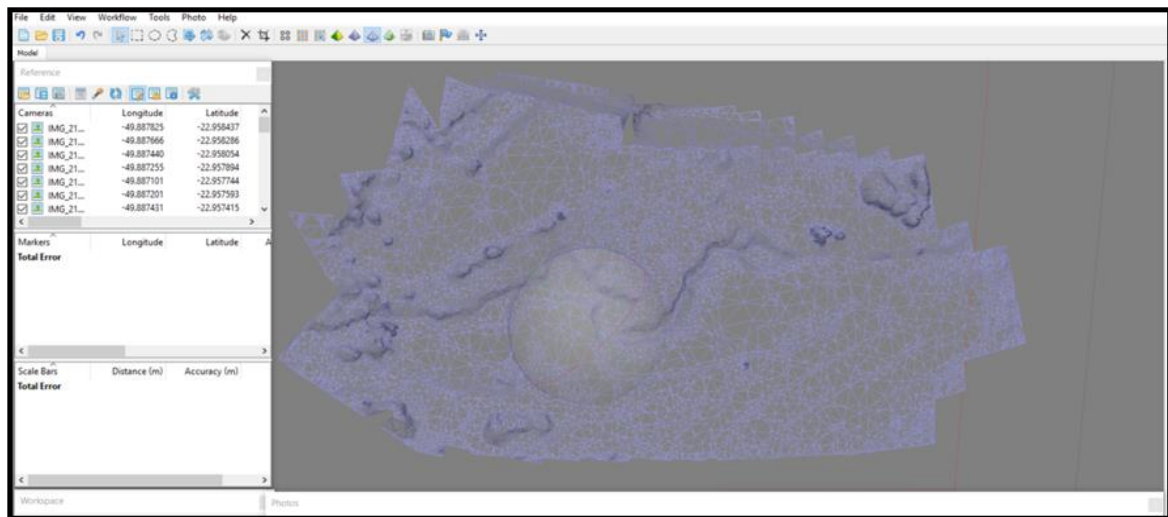


Figura 31. Demonstração da rede de triângulos. .
Fonte: Software Agisoft PhotoScan.

De posse da *Build Mesh* foi gerada a textura ou comando *Build texture*, que é a etapa final antes da extração do Modelo Digital de Superfície e a ortofoto. (Figura 32)

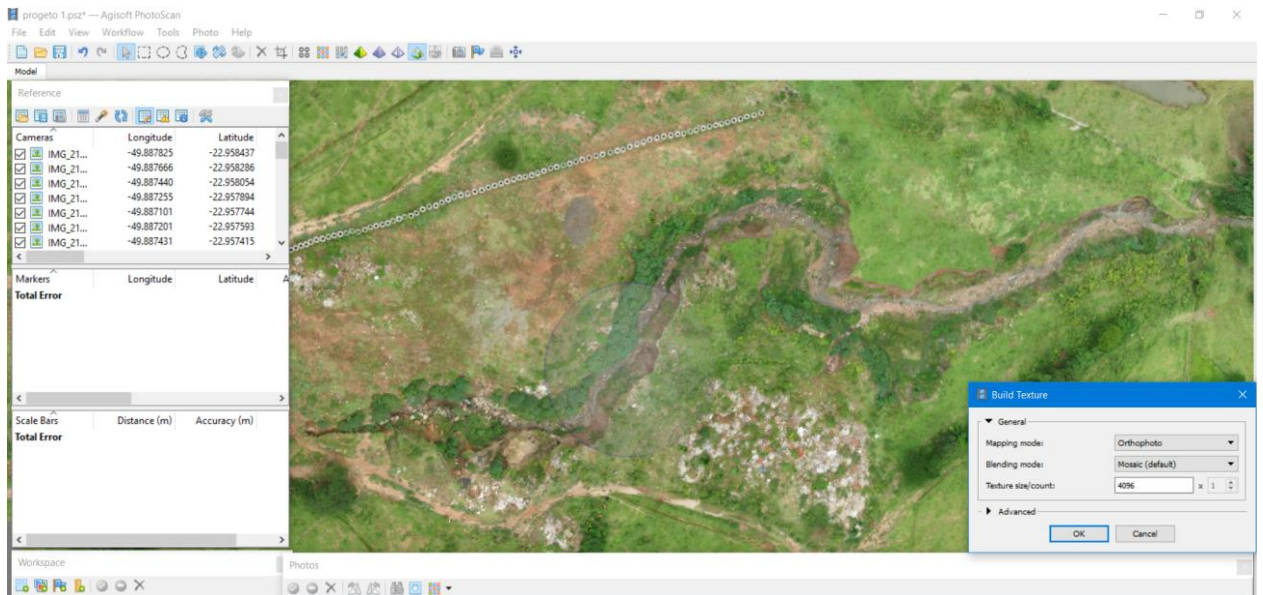


Figura 32. Demonstração de geração da ortofoto.

Fonte: *Software Agisoft PhotoScan*.

A partir do exposto anteriormente vale destacar que a geração dos ortomosaicos ocorre a partir da texturização e da geometria construída pela malha triangular. Assim, o produto final depende do processamento apurado das imagens aéreas. É importante ressaltar que em um dos voos foram utilizados pontos de apoio, a fim de melhorar a acurácia dos produtos. Nesse sentido, o procedimento para gerar ortofoto com pontos de controle é quase semelhante ao destacado anteriormente, porém devem-se inserir os pontos no software e alinhá-los com as devidas marcações materializadas em campo e fotoidentificáveis na imagem. Essa é uma etapa que o software não realiza automaticamente, necessitando a intervenção do operador. (Figura 33)

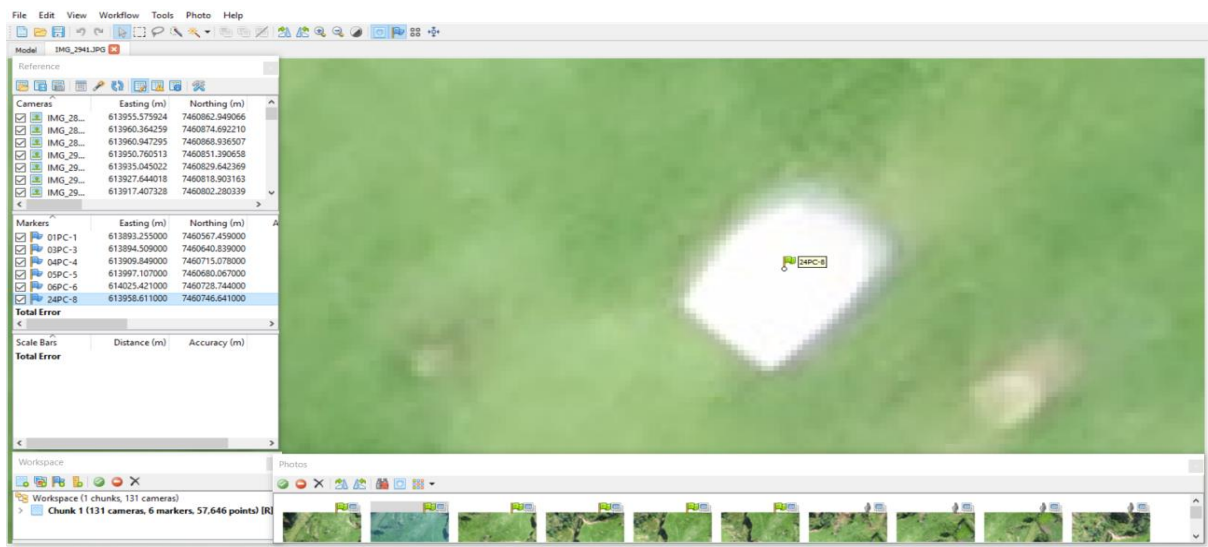


Figura33. Demonstração do alinhamento manual do ponto de controle com a marcação materializada em campo.

Fonte: *Software Agisoft PhotoScan*.

Os pontos de controle são fundamentais para a acurácia do produto final. Todas as coordenadas tridimensionais foram determinadas no Datum SIRGAS 2000, no sistema de projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e as altitudes são referenciadas ao elipsóide e não ao geóide. Assim, altitudes estão representadas geometricamente.

Para realizar a extração do Modelo Digital de Superfície (MDS), a verificação dos impactos e análise das feições, assim como alterações como desmoronamento, solapamento ou formação de depósitos e decorrência do escoamento superficial da água ou por ações humanas, foi necessário gerar dois modelos para se fazer as comparações. A metodologia utilizada está descrita por Rodrigues (2016). Para esse momento foram gerados dois MDS: o primeiro sem apoio de campo e o segundo com apoio. Na sequência realizou a sobreposição dos ortomosaicos e ao final georreferenciamento.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Trabalho de campo

O trabalho de campo foi uma etapa essencial para essa pesquisa, já que por meio dele se fez um reconhecimento da área de estudo, determinando a topografia, os aspectos do relevo e a drenagem do local. O levantamento dessas informações *in loco* deu suporte para a compreensão das formações dos processos erosivos predominantes no local. Também, propiciou a análise e identificação das feições erosivas, assim como os impactos ambientais gerados pelo descarte irregular de entulhos e lixos domésticos. As ponderações descritas neste capítulo estão embasadas nos trabalhos de ARAÚJO, 2005; GUERRA, 2005; OLIVEIRA, 2005 e SOBRAL, 2011.

Assim, para uma compreensão desse capítulo, os resultados serão discutidos conforme a metodologia adotada para essa etapa. Dessa forma, a seguir será demonstrado um mosaico identificando elementos presentes à montante da erosão.

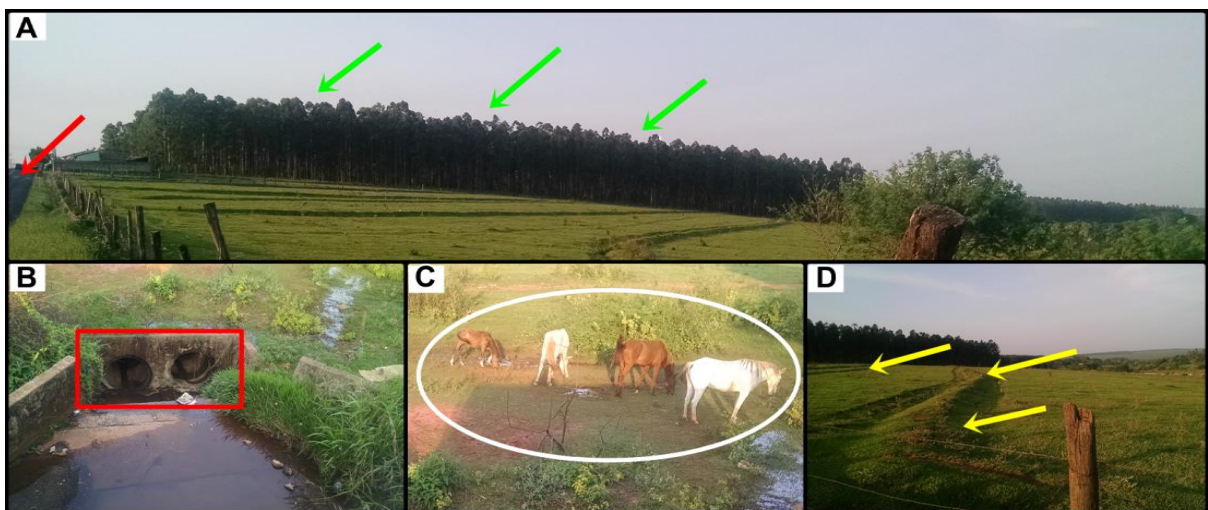


Figura 34. Elementos a montante da erosão. (A) Vegetação e malha viária (B) Ponto de coleta de águas pluviais, (C) Animais e (D) Curvas de nível.

Pelo conjunto de fotografias percebe-se que o segmento denominado montante da erosão, localizado a $22^{\circ}57'40''$ latitude S, e $49^{\circ}53'28''$ longitude O, é margeado pela Avenida Vitalina Marcusso, indicada pela seta vermelha na figura A. Ela foi construída a partir de terras doadas à prefeitura por Jacinto Ferreira de Sá, com o intuito de viabilizar o acesso à Faculdade de Tecnologia (FATEC). Segundo Sobral (2011), a obra no trecho inicial da referida avenida construiu um ponto de lançamento da rede de drenagem das águas pluviais providas dos bairros adjacentes. O ponto de coleta de drenagem está representado

destacado na cor vermelha na figura B. Assim pode-se entender a abertura da avenida, assim como dimensionamento inadequado da obra foram as responsáveis pela formação do quadro erosivo e da degradação da área.

Nesse ínterim, é importante destacar o uso da terra. Além das áreas adjacentes serem ocupadas por bairros e malha viária como já comentado anteriormente, também identificou-se silvicultura de eucaliptos destacada pelo vetor verde na figura A. Referente as áreas de pastagem, elas são recobertas pela *Brachiária Decumbens*, que servem pasto para o gado bovino e equino que encontra confinado na propriedade. É pertinente destacar que a presença desse rebanho destacado pelo círculo de cor branca na foto C contribui para a degradação da área, pois são evidente pontos com erosão zoógena provocada pelo pisoteio desses animais. Essas constatações também são contempladas por Sobral (2011). O outro elemento notório na Figura 35 compreende as curvas de nível (terraços) indicadas pelas setas amarelas na imagem D. Elas foram construídas pela prefeitura municipal com o intuito de diminuir a força das águas pluviais ao escoarem pela vertente.

Chamou a atenção ao longo do trabalho de campo a grande quantidade de resíduos sólidos como lixo doméstico e entulho, que foram descartados de forma inadequados no local. A Figura 35 abaixo demonstra a estado degradante que estava o local no dia da coleta das imagens.



Figura 35. Descarte irregular de lixo doméstico e entulhos.

Apesar de a área atualmente estar interditada por cercas de arame e as placas alertarem, sobre a proibição de descarte de lixo e entulho como na figura C, o local ainda apresenta pilhas de entulhos e resíduos sólidos que foram depositadas recentemente, como indicado nas fotografias A e B, sendo indicadas pela seta laranja. As pilhas são constituídas de restos de materiais da construção civil como: telhas, brita, tijolos, pedaço de laje, azulejos e madeiras. Além disso, foram identificados resíduos sólidos de natureza doméstica, por exemplo: restos de alimentos, embalagens, sacos plásticos, brinquedos, etc. Ainda foi verificado o descarte de móveis tais como: sofás, armários, cadeiras, entre outros. Também foi encontrado lixo eletrônico como aparelhos eletrônicos, além de carcaça e tubos de televisores, etc. Vale lembrar que grande parte dos entulhos e lixos que se encontram nesse segmento estão lá em decorrência da obra de “recuperação”. Inicialmente, foi realizado a canalização de alguns pontos da erosão, conectando com galeria principal da rede de drenagem das águas pluviais da Avenida Vitalina Marcusso. Vale destacar que as galerias foram cobertas com as pilhas de entulho e o lixo depositado no local. A Figura 36 a seguir demonstra uma das caçambas utilizadas para o descarte de entulho. Ela foi abandonada no local. Além dessa foram encontradas outras que se estão na mesma situação.



Figura 36. Caçamba abandonada.

Vale destacar que as medidas de “recuperação” que a Prefeitura adotou contribuiu aumentando o quadro de degradação da área. Essa constatação também foi relatada por Sobral (2011, p.60), que afirma que a obra de recuperação foi, em grande parte, deteriorada por chuvas. Somado a isso a autora ressalta que todo o material desagregado é transportado pela água, vai para o Córrego Água da Veada, afluente do Rio Pardo, fonte de abastecimento da cidade, tributário do Rio Pardo. A autora constatou que esse manejo inadequado agravou o quadro de degradação dos recursos hídricos a jusante da erosão.

Nessa mesma perspectiva Almeida e Guerra (2014) afirmam que as próprias instituições públicas são responsáveis pela degradação ambiental. Essa constatação faz parte de um estudo de caso realizado em uma erosão em Sorriso - MT. Segundo os autores, a Prefeitura ordenou o entulhamento da voçoroca com restos de serralheria e pneus, entre tantos outros resíduos sólidos. O caso relatado se assemelha à condição de Ourinhos, uma vez que até os dias atuais a área está sofrendo com os impactos ambientais gerados do manejo incorreto da erosão.

Referente à cabeceira da erosão, localizado na latitude de 22°57'34'' S e longitude 49°53'20'' O, os trabalhos de campo mostraram que o segmento passou por grandes transformações, uma vez que parte da voçoroca foi canalizada e aterrada. Mesmo com as intervenções a área continua degradada. As imagens a seguir demonstram um mosaico expondo realidade do local em 2016.

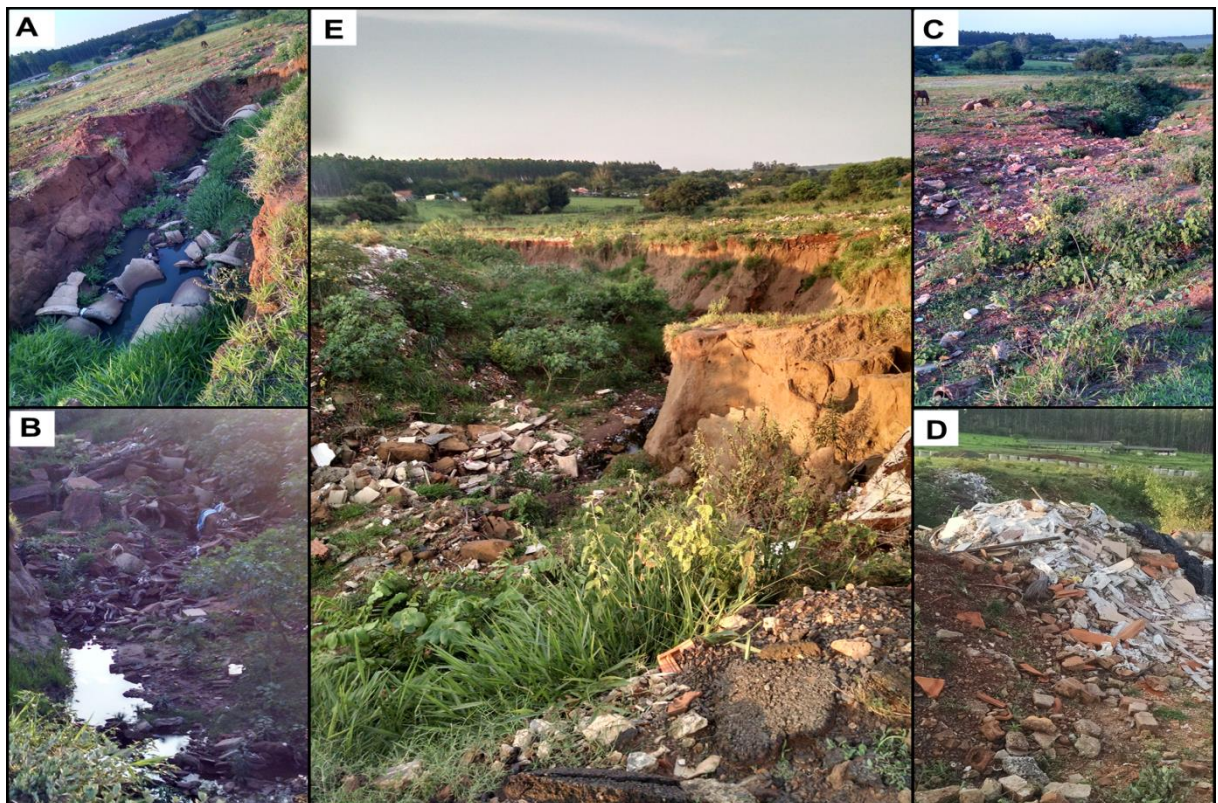


Figura 37. Cabeceira da erosão.

Como foi observado por Sobral (2011), grande parte da obra foi deteriorada por eventos meteorológicos de intensa precipitação que ocorreram na cidade. A fotografia A do mosaico confirma o que a autora relatou em sua pesquisa. Pode-se perceber as galerias pluviais danificadas, descobertas e desconectadas da rede. Vale frisar que a cor da água o mau cheiro está assim, pois se acredita que essas galerias então recebendo água de esgoto. Outro

fator constatado foi o descarte de entulhos recentes às margens do acidente geográfico representado pelas fotos B e C. Esses, com as chuvas, chegam ao talvegue da erosão.

Como pode se observar, a figura E demonstra que o leito da erosão está sendo selado com resíduos sólidos. Já a imagem D comprova que todos os sedimentos e fragmentos depositos estão sendo transportados para jusante de cabeceira, que vão culminar com a poluição Córrego água Veada e, posteriormente, dos Rios Pardo e Paranapanema.

Já no trecho médio que está nas coordenadas $22^{\circ}57'27''$ S e longitude $49^{\circ}53'18''$ O, foi evidenciado a atividade dos processos erosivos, a partir do solapamento do talude. Além do mais, identificaram-se algumas feições que estão sendo destacadas na Figura 38.

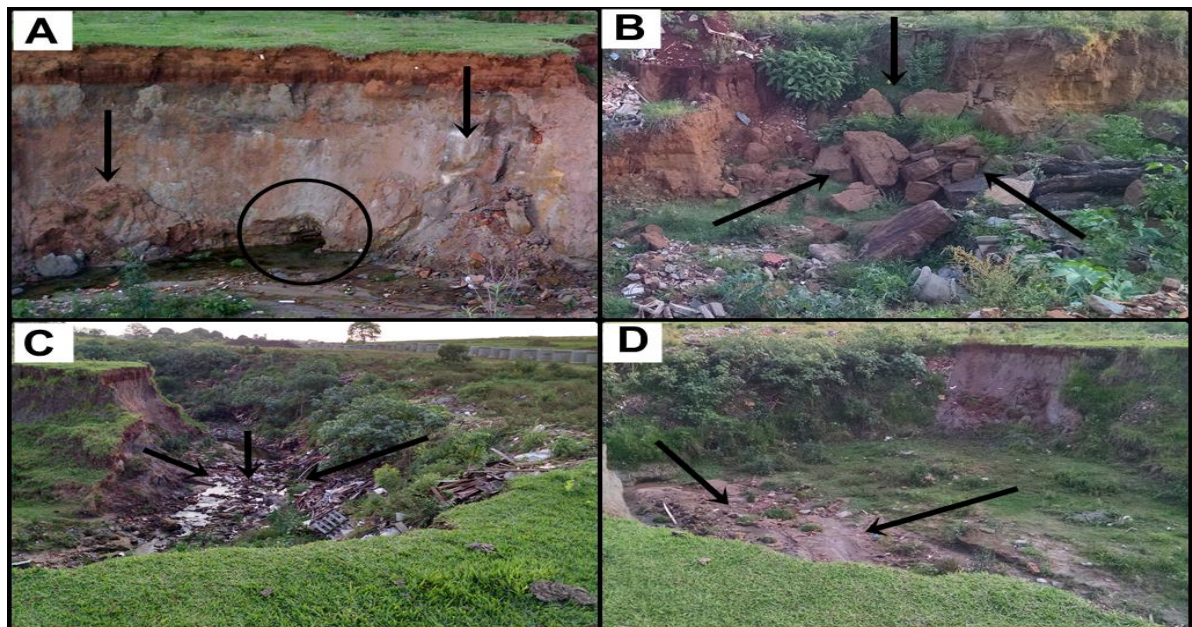


Figura 38. Trecho médio da erosão.

Cabe ressaltar que as transformações dos taludes ocorreram durante eventos chuvosos que atingiram a região. Percebeu-se uma interferência direta dos fragmentos oriundos dos resíduos sólidos na formação e alteração das feições erosivas. Essas constatações foram fundamentadas no trabalho de (OLIVEIRA, 2005).

Referente às feições da fotografia A, pode-se observar formação de alcova de regressão circularizada em preto, que é oriunda do afloramento do lençol. Também é perceptível o movimento de massa indicado pela seta em preto e a partir do desmoronamento do talude, também constatou-se a formação de depósito de sedimentos. A foto B demonstra o desmoronamento de blocos de rochas indicados pela seta. Vale dar destaque para os fragmentos de tubulações e construção civil que estão depositados no sopé do talude.

Também observou-se o descarte de materiais providos de indústria madeireira como: vigas, caibros, sarrafos e *pallet*, evidenciados na fotografia C. Para finalizar foi identificado na foto C o transporte de material inconsolidado e a formação de depósitos de sedimentos no talvegue da erosão. Na foto D constatou a formação de depósito sedimentares.

A foz, localizado na latitude de 22°57'24'' S e longitude 49° 53'14'' O, que está representado no mosaico a seguir. (Figura 39).

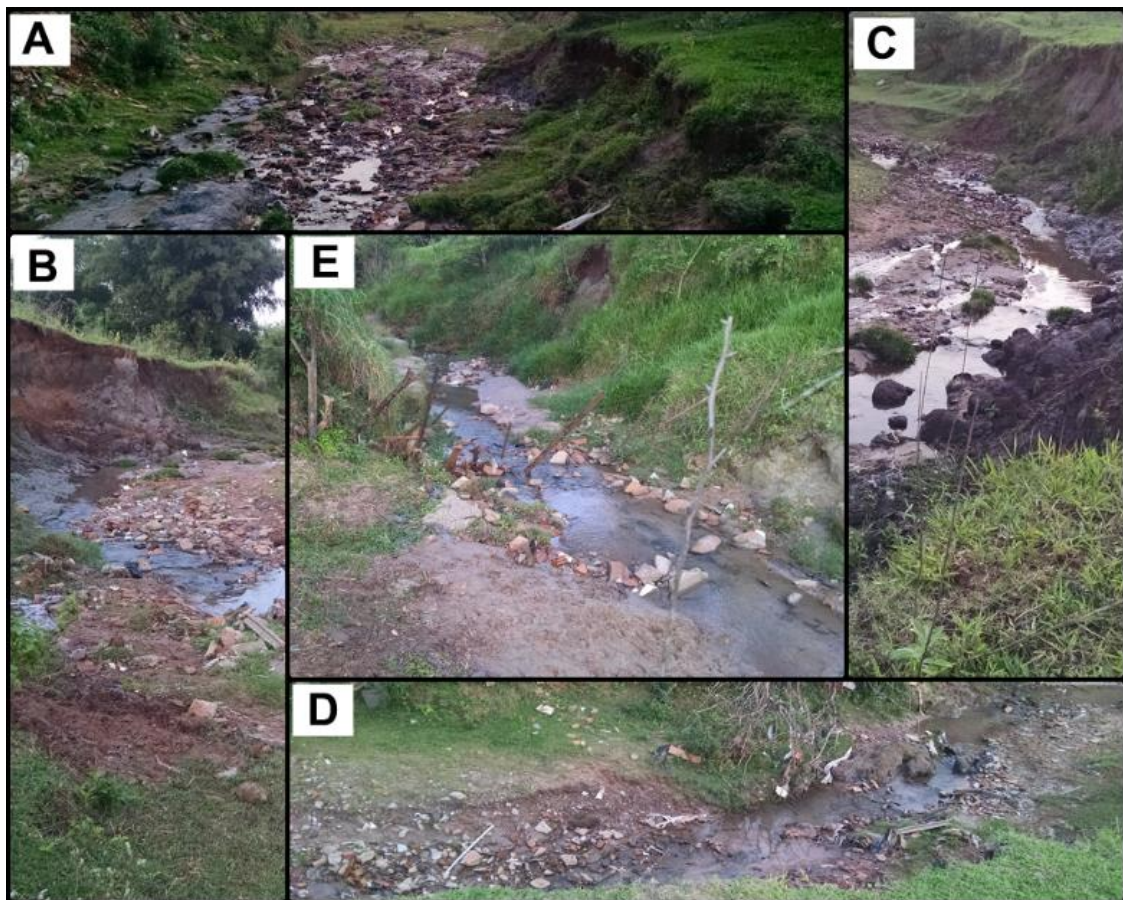


Figura 39. Trecho médio da erosão.

A análise desse segmento demonstrou a quantidade de sedimentos que foram transportados ao longo do leito da voçoroca. Percebe-se a formação de vários depósitos de sedimentos, como estão sendo representados nas fotografias A, B, C e D. Também, fica claro que algumas partes do lençol está sendo assoreadas pelos fragmentos provenientes depositados na cabeceira da erosão. A foto E representa o limite da propriedade e posterior a junção do lençol com o Córrego Água da Veada, localizado na coordenada 22°57'22'' latitude S, e 49°53'14'' longitude O.

5.1.1 Aerolevantamento

Essa etapa da pesquisa foi de muito importante, uma vez que foi a partir dela que foi realizada a avaliação do desempenho da aeronave e qualidades das fotografias aéreas. Também cabe ressaltar que as fotografias tomadas pelo VANT foram cruzadas com os registros fotográficos de solo. Esse procedimento deu suporte para a análise dos processos erosivos e a avaliação dos impactos ambientais. A Figura 40 a seguir demonstra as imagens tomadas na cabeceira da erosão.

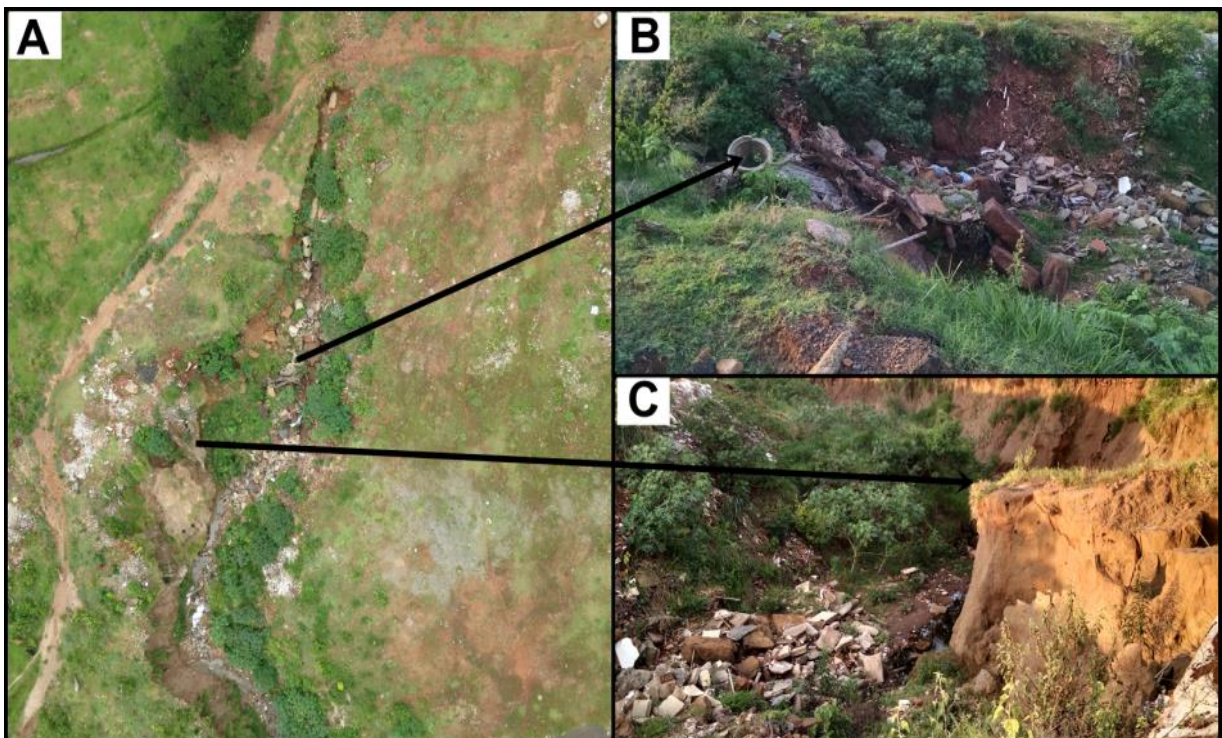


Figura 40. Cabeceira da voçoroca em 2016.
Foto: O autor.

A partir da fotografia aérea representada pela letra A, pode-se dimensionar o impacto negativo a que o segmento estava sujeito. Ao fazer a comparação com registros coletados em solo, percebem-se os tipos de fragmentos escoados para o interior da erosão. A seta indica uma tubulação danificada, depositada no talvegue da erosão (foto B). A segunda exibe a presença de um pedestal, formado na margem direita da erosão (fotografia C). Pela textura e cor da imagem pode-se evidenciar a poluição do solo com a formação de depósitos tecnogênicos nas camadas superiores. Essas constatações também foram relatadas na pesquisa de Sobral (2011, p. 19) que fez a análise das amostras coletadas no local. Vale esclarecer que essa interpretação foi possível em razão da resolução espacial do pixel no terreno, também

conhecida como GSD, ou seja, para se ter um melhor detalhamento dos objetos em solo, essa pesquisa adotou uma resolução espacial pequena, de cerca de três centímetros.

A Figura 41 demonstra uma comparação da evolução do segmento entre fevereiro de 2016 e fevereiro de 2017.

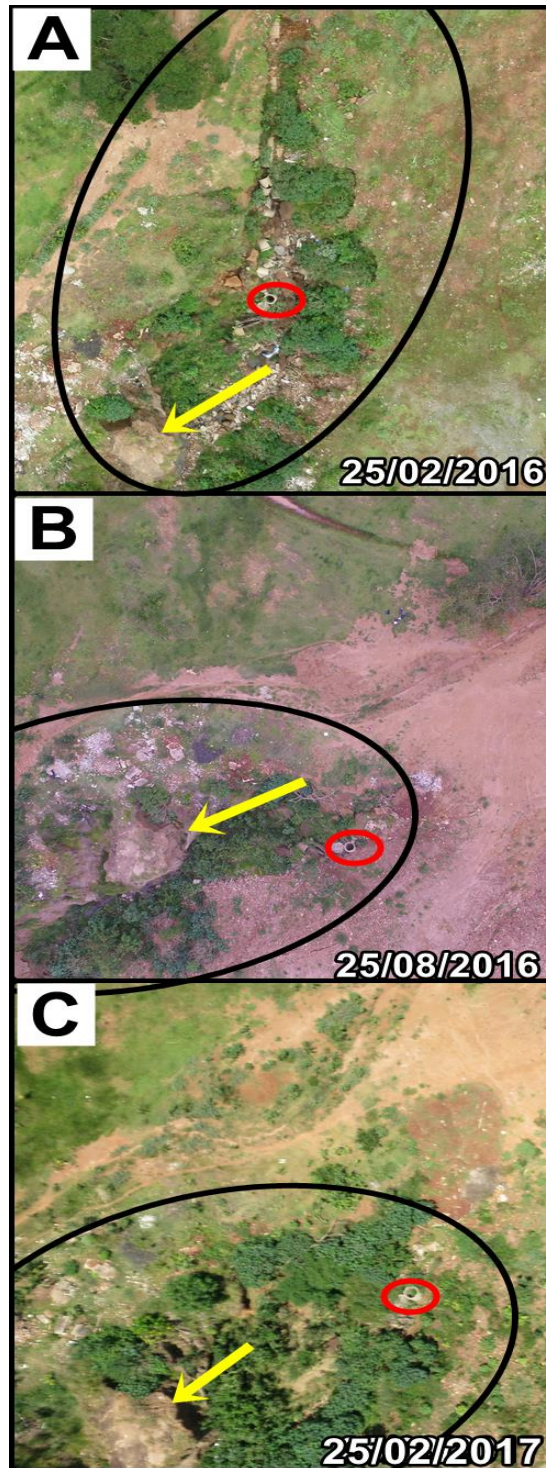


Figura 41. Transformação da cabeceira da voçoroca nos anos de 2016 a 2017.

É importante destacar que foram tomados como referenciais para fins de comparação os mesmo objetos da Figura 41. Para melhor interpretação da imagem foi feita a marcação dos mesmos, sendo setas amarelas para os pedestais e os círculos vermelhos para as tubulações. Também foi feito um polígono em preto abrangendo a área de cabeceira da erosão. Assim, a Figura A demonstra o segmento no início da pesquisa. Fica em evidência o processo de voçorocamento intenso que a área estava sendo sujeitada. Além do mais observa-se a deterioração das galerias implantadas, que ficaram descobertas, após intensos eventos de precipitação.

A fotografia B mostra área parcialmente aterrada. Observam-se alguns sinais de estabilização dos processos, principalmente pelo afloramento de uma vegetação no interior da erosão. Vale lembrar que as imagens foram tomadas em agosto, época de índices pluviométricos menores na região, por isso os processos erosivos não tiveram influência hídrica, ficando estáveis.

Já na última imagem C, nota-se que a cabeceira já estava totalmente aterrada em relação à fotografia A, o talvegue na porção inferior da imagem está tomado por uma vegetação da espécie *Ricinus communis*, popularmente chamada de mamona. No entanto a presença da vegetação não minimiza os impactos gerados pelos resíduos sólidos. Nessa perspectiva vale demonstrar a próxima Figura 42.



Figura 42. Aterramento da erosão.

A imagem demonstra o movimento de materiais inconsolidados em direção ao interior do acidente, gerando o assoreamento do leito. É notória a vegetação na base do talude da erosão indicados pela seta amarela. Também pode-se identificar, na parte inferior da Figura, um pedestal erodido circulado em amarelo.

Referente ao trecho médio, as fotografias aérea e de solo, mostraram que o segmento é o mais afetado pelos impactos ambientais assim, como por processos erosivos, pois nele foi encontrada a maior concentração de pilhas de resíduos sólidos (entulhos e lixo), que atualmente já estão até encobertas pela vegetação, só podendo ser visualizadas de cima, conforme a Figura 43 abaixo.

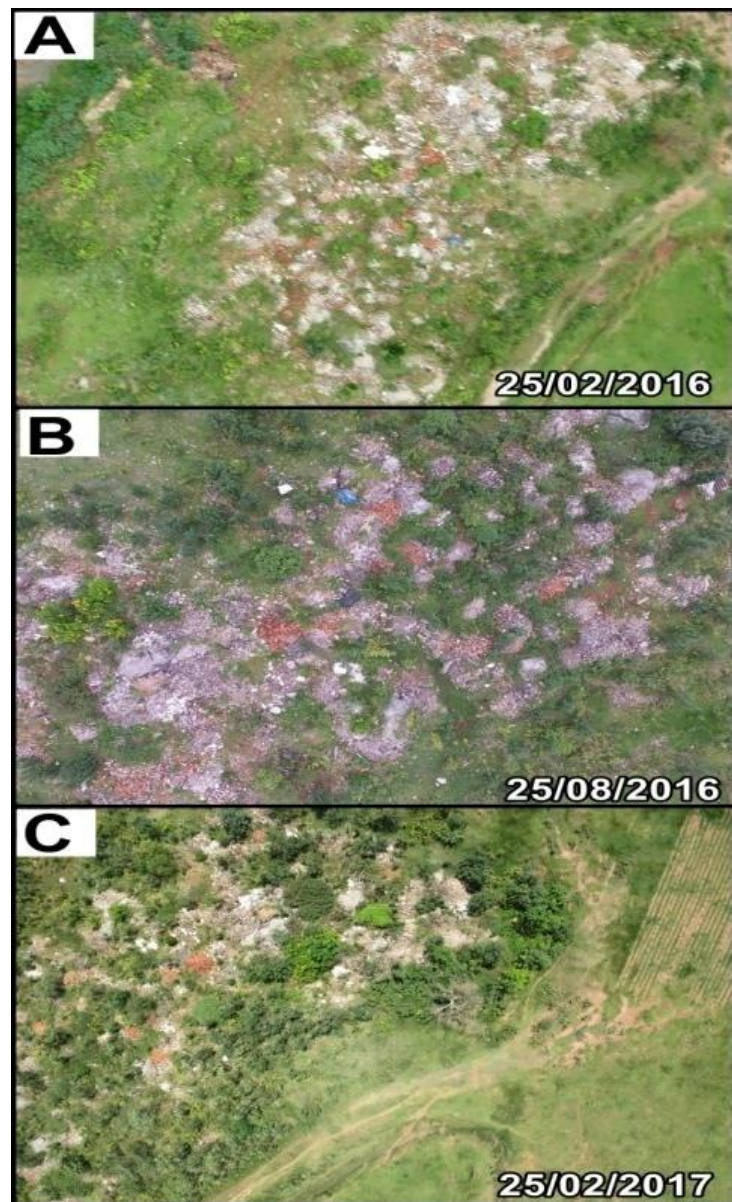


Figura 43. Depósitos de resíduos sólidos em diferentes períodos de monitoramento.

Pelas imagens percebe-se a concentração da pilhas de entulho. As fotografias A e B demonstram os primeiros voos, nos quais se identificou o aglomerado. Já a fotografia C demonstra último voo no qual constatou-se a presença da vegetação encobrindo as pilhas, porém grande parte delas foram desintegradas, incorporando-se ao solo e contribuindo para a formação de depósitos tecnogênicos. Já outra parte dos fragmentos acabaram sendo escoados para o interior da voçoroca.

É interessante mencionar que os resíduos descartados no local são originados de materiais úrbicos e que os mesmos foram despejados por caçambas, algumas delas abandonadas no local. A imagem a seguir detectou um conjunto de caçambas abandonadas.



Figura 44. Caçambas abandonadas.

Pela fotografia percebe-se um conjunto de nove caçambas, que se encontram próximas ao aglomerado de entulho da Figura 44. Como se pode observar, elas já estão camufladas pela espessa vegetação. Outra informação importante acerca delas é o fato de estarem abandonadas e se deteriorando no local. Além do mais, podem servir de criadouro para os mosquitos, entre eles o *Aedes Aegypti*.

Dando continuidade, foram analisadas as imagens do trecho médio da voçoroca. Vale destacar que, devido à proximidade com o aglomerado de entulho, o segmento ficou suscetível a grandes influências de detritos úrbicos que foram transportados pela água da chuva para o leito da erosão. Logo a Figura 45 demonstra um conjunto de imagens com as principais transformações do segmento no período vigente da pesquisa.

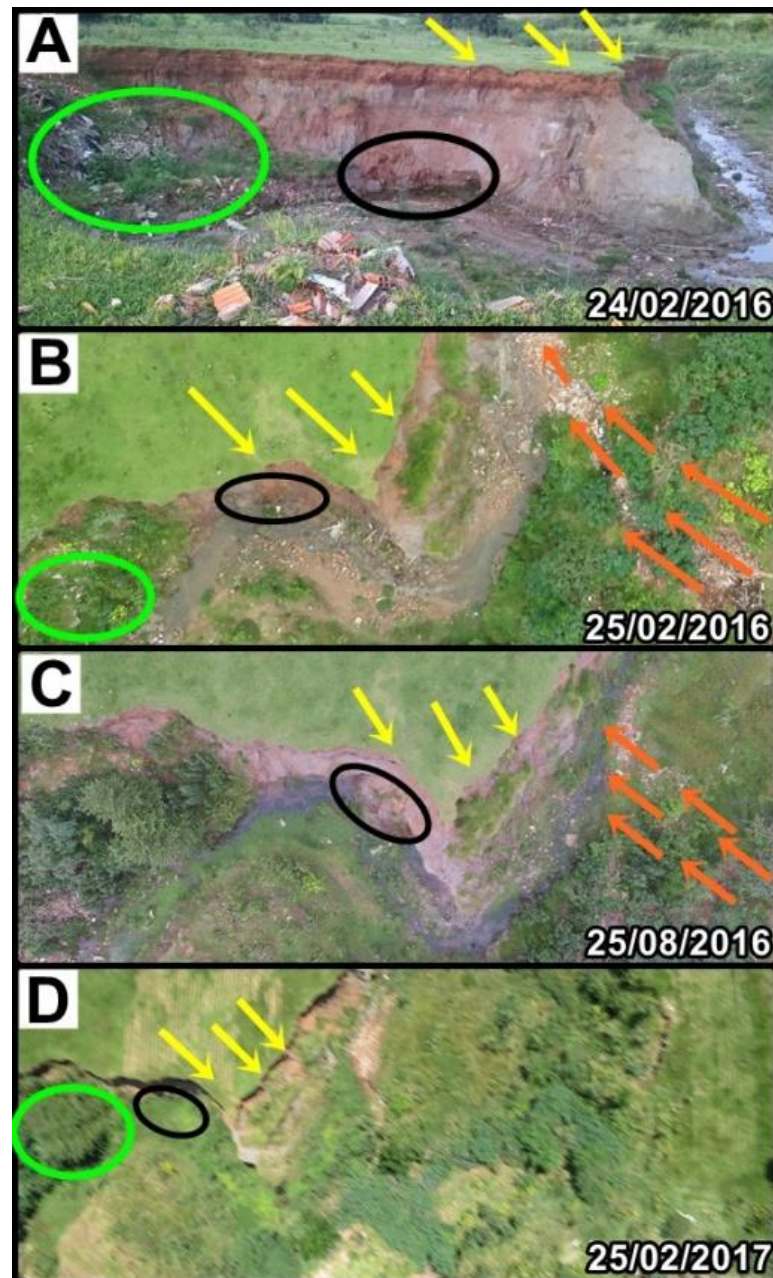


Figura 45. Trecho médio da erosão.

Foram identificados alguns fatores comentados a seguir. Para tanto, optou-se por dar ênfase às feições. Cabe esclarecer que a fotografia A foi tomada em solo e serviu de referencial para a realização das comparações com as demais. Dessa forma, no que se refere

às feições, as fotografias B e C detectaram a alcova de regressão, destacada com círculo preto e também a modificação do talude indicada pela seta amarela. As mesmas também identificaram a movimentação dos fragmentos oriundos das pilhas de resíduos sólidos depositadas às margens da voçoroca. Essa constatação foi evidenciada pelos vetores em laranja, demonstrando o sentido e o destino que as partículas estão seguindo. As imagens aéreas também demonstraram a transformação da paisagem, principalmente com relação à vegetação, que teve um considerável aumento, o afloramento intenso ocorreu a partir do segundo semestre de 2016. Essas comprovações podem ser apresentadas nas imagens C e D. Apesar da presença intensa da vegetação, os processos erosivos continuam ativos, principalmente no que se refere ao transporte de sedimentos pelo leito da erosão.

A foz da erosão é uma parte muito importante de analisar, pois todo material transportado ao longo do leito está sendo depositada nela conforme exposto pela Figura 46.

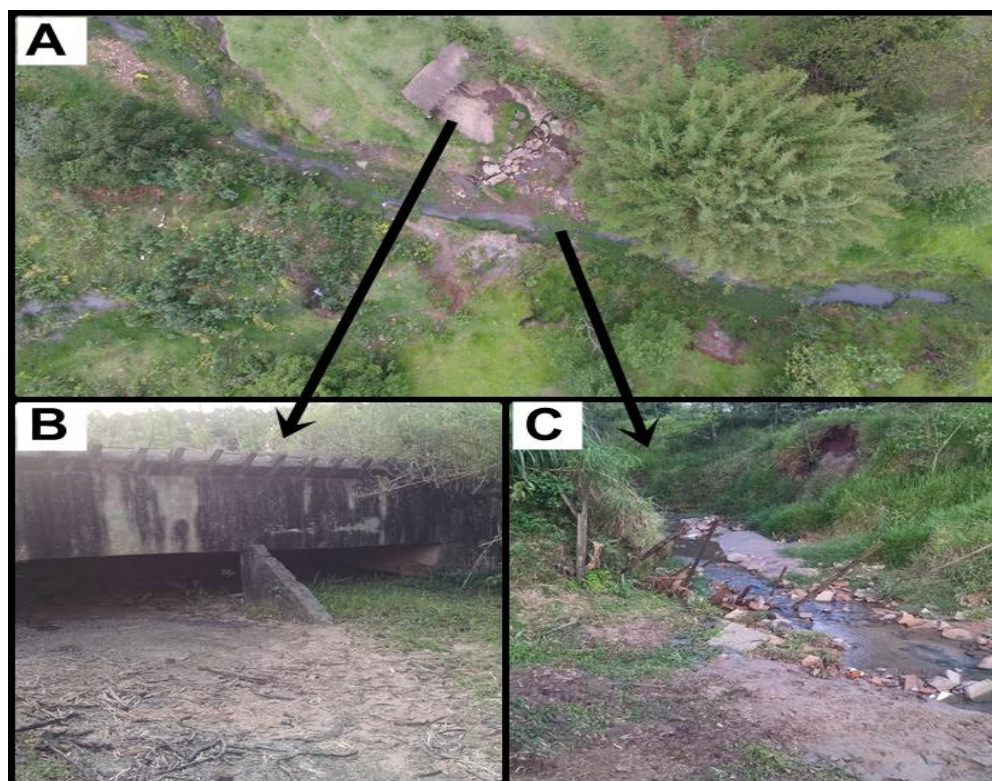


Figura 46. Foz da erosão (2016). (A) imagem aérea. (B) galerias, saída das águas pluviais. (C) limite da propriedade

A fotografia A mostra a foz em processo de assoreamento. Também identificou-se o escoamento de águas superficiais na margem direita identificado pelos vetores azuis. Pela cor e tonalidade clara da água se observou a alta concentração de partículas em suspensão sendo transportadas pelo leito da erosão. Acredita-se que além dos sedimentos, a área está recebendo esgoto das galerias pluviais. Também constatou-se a formação de grandes depósitos de

sedimentos no leito principal, destacado pelo círculo amarelo. As fotos B e C fazem referência às imagens tomadas em solo, foram comparadas com a imagem aérea. Assim, observou-se a saída de galeria pluvial e limite da propriedade, indicada pelas setas pretas.

5.2 Análise do processamento das fotografias aéreas

5.2.1 Modelo Digital de Superfície (MDS).

Para essa etapa buscou gerar uma base cartográfica mais concreta, referente aos impactos e demonstrar a modificação da paisagem. A imagem a seguir demonstra a imagem de um ortomosaico.



Figura 47. Ortomosaico (2016).
Fonte: Relatório Photoscan.

Por ele pode-se ter uma visão ampla da área de estudo. A resolução do pixel no terreno (GSD) de três centímetros, adotado pela pesquisa propiciou mais detalhamento dos objetos em solo. Assim foi possível fazer uma melhor interpretação dos fenômenos e acompanhar as transformações ocorridas no local. Nessa perspectiva é importante discutir alguns parâmetros do processamento.

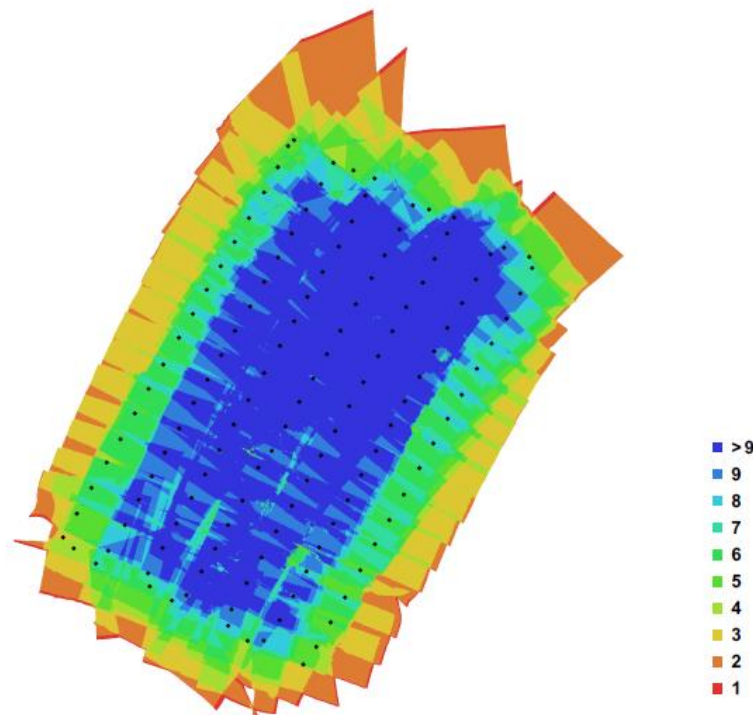


Figura 48. Sobreposição da imagem.
Fonte: Relatório Photoscan.

A Figura 48 demonstra a sobreposição do modelo. É importante lembrar que a sobreposição das imagens foi calculada durante a elaboração do plano de voo. Logo, para este trabalho se estipulou 60% de lateral e 60% longitudinal. Assim a cor azul expõe a sobreposição máxima e a cor laranja a mínima. Assim pode-se inferir que a sobreposição máxima, ou seja, de 60%, está sendo visualizada nas imagens de centro. Nota-se que essa sobreposição se obteve em nove imagens. Já as partes da borda da imagem tiveram menos recobrimento, o que acaba por gerar algumas distorções no ortomosaico. No entanto, o processamento acabou contemplando toda a área da erosão, elevando a qualidade do mosaico. Essas constatações também puderam ser percebidas no trabalho de Rodrigues (2016).

Além do mais, o referido autor chama atenção para possíveis variações no GSD do projeto, ou seja, aumento ou diminuição da resolução do pixel no terreno. Isso pode ocorrer quando se processam as imagens sem georreferenciar aos pontos de controle. A altura de voo é determinada pela média da altitude de voo menos a altitude média do terreno. Já no processamento sem pontos de apoio, a posição e a altitude da câmera são determinadas de forma direta pelo GPS embarcado da aeronave ou da própria câmera. Esses equipamentos são de baixa precisão. Ao fazer a aerotriangulação no *software* de processamento, o algoritmo pode gerar blocos com menor rigidez. Isso acontece porque o programa não tem um referencial fixo e assim acaba por alterar a posição do ponto no terreno, bem como a posição e

a altitude de câmara. É importante salientar que os produtos gerados foram georeferenciados pelos pontos de controle em solo. A partir disso foram gerados dois mosaicos para demonstrar as transformações das paisagens, conforme a Figura 49 a seguir.

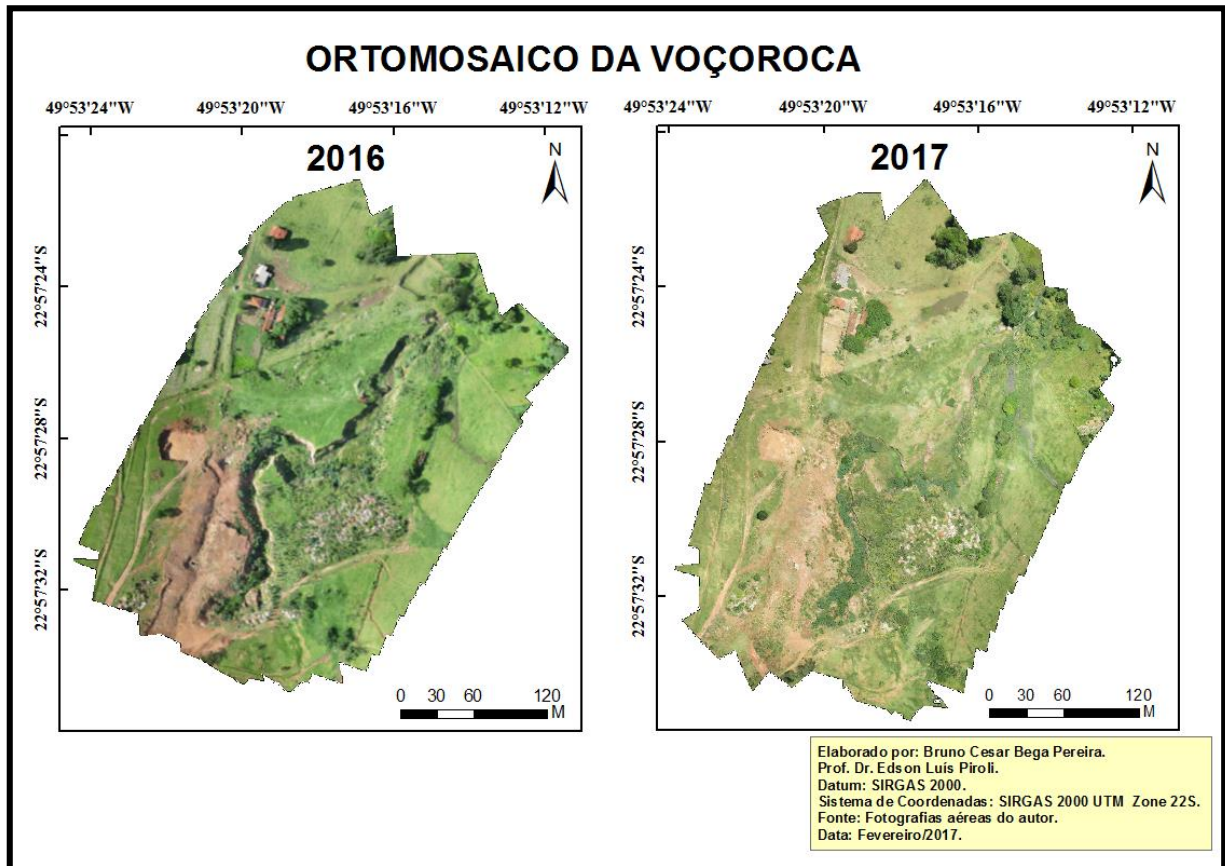


Figura 49. Mosaicos da erosão 26/02/2016 e 26/02/2017.

Fonte: O autor.

Os mosaicos evidenciaram as transformações da paisagem no período de um ano. O mosaico de 2016 constatou uma atividade mais intensa dos processos erosivos, embora já se consiga observar o crescimento de uma vegetação incipiente no leito da voçoroca. Outra questão que merece destaque foi que os aglomerados de entulhos estavam mais visíveis. Em contrapartida, o mosaico de 2017 demonstrou menos atividade erosiva. Embora seja percebido pela imagem o talvegue da erosão encoberta por vegetação, a mesma não se encontra totalmente estável, além de que as tentativas da Prefeitura de estabilizar o fenômeno não diminuíram a degradação ambiental da local. A questão mais grave é a poluição do solo com os restos de entulhos e água a partir do despejo *in natura* de esgoto nas galerias pluviais. Vale ressaltar que a foz da erosão faz a integração com o Córrego Água da Veda e posteriormente seus tributários, gerando a poluição desses corpos d'água.

Também foi gerado um Modelo Digital de Superfície (MDS) para demonstrar o talvegue da erosão.

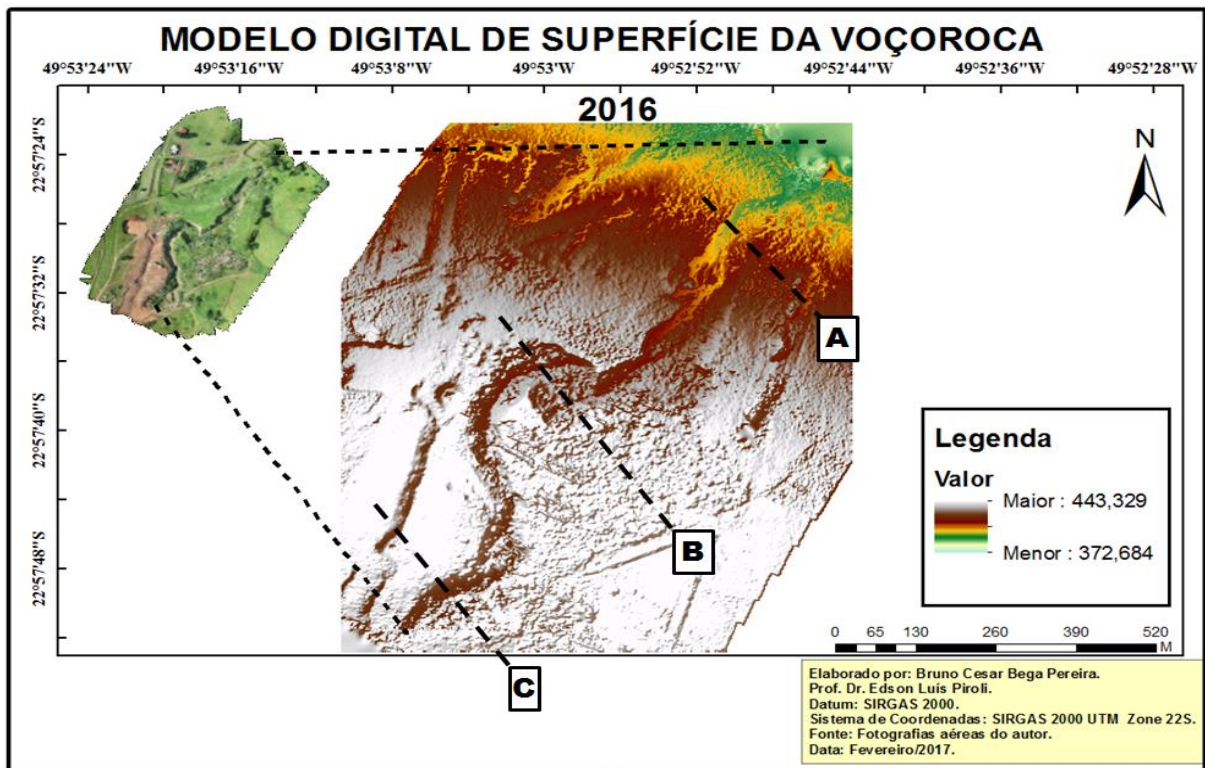


Figura 50. Representação do Modelo Digital de Superfície (MDS).

Fonte: O autor.

Pelo modelo fica evidente a incisão da voçoroca. Percebe-se a sinuosidade do canal, e também é possível visualizar as altitudes médias do terreno. Ressalta-se que o modelo não foi classificado, ou seja, os objetos acima da superfície não foram filtrados. É importante comentar que o objetivo de gerar esse MDS é a visualização planimétrica do terreno. Para fazer a visualização altimétrica foram gerados três perfis apresentados na Figura 51.

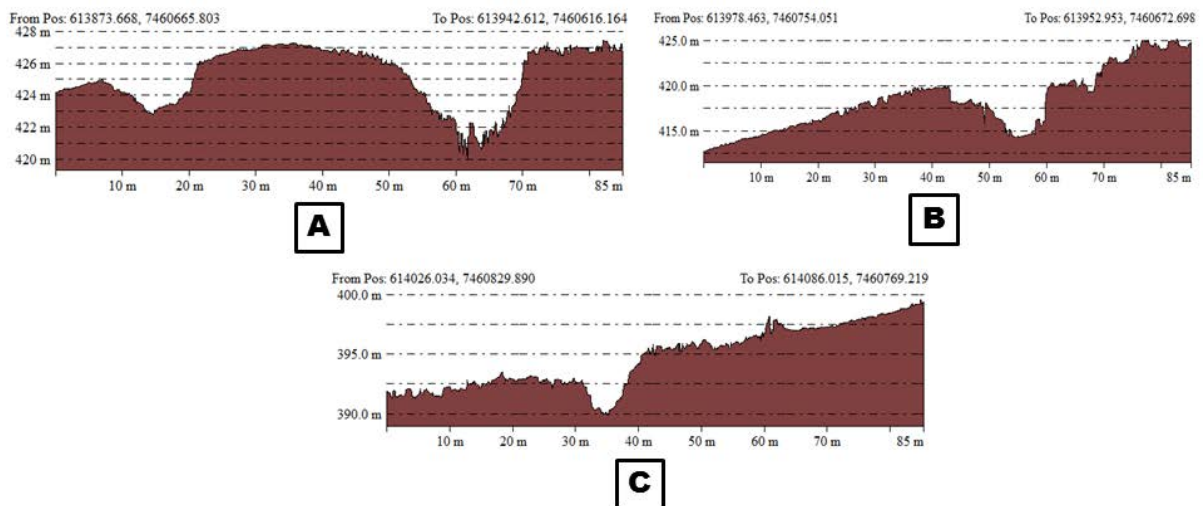


Figura 51. Perfis transversais dos segmentos da erosão.
Fonte: O autor.

As imagens exibem o perfil transversal de 85 metros sobre a voçoroca, nos três segmentos analisados ao longo do trabalho. A letra A representa a cabeceira. Nota-se um desnível na borda esquerda, que representa o aterro feito pelas intervenções da prefeitura. Fica em destaque o talvegue da erosão com uma profundidade de aproximadamente seis metros. Pela saliência com pontos irregulares no fundo do canal da voçoroca, pode-se constatar o afloramento da vegetação. Fica evidente o talude que faz a ligação com a margem direita da forma erosiva.

O perfil B faz referência ao trecho médio da erosão. Evidencia-se o talude recortado na borda esquerda da erosão. Também percebe-se a presença de alguns fragmentos de vegetação no seu interior. Além do mais, o barranco na vertente direita tem alguns desníveis que tem como causa a queda de blocos de rocha e os movimentos de massa, durante os eventos de precipitação. É importante destacar que esse segmento tem um desnível de aproximadamente cinco metros.

O último perfil letra C, trata da foz da erosão, que mostra um pequeno desnível de cerca de dois metros na borda direita, em decorrência do assoreamento do lençol. Já na margem esquerda e constituída por um barranco de aproximadamente cinco metros.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa pesquisa abordou a importância de se utilizar as tecnologias no apoio aos estudos ambientais, principalmente na utilização de VANT como plataforma para a tomada de fotografias aéreas em áreas degradadas, por algum tipo de acidente geográfico ou impacto ambiental negativo. A pesquisa desenvolvida por esse trabalho teve como objetivo avaliar a aplicabilidade de VANTs como ferramentas de monitoramento de uma área degradada por processos erosivos em Ourinhos-SP. Ela demonstrou que essa ferramenta é eficaz, pois se pode fazer revisitas periódicas com baixo custo. Outra questão importante é referente à resolução dos produtos fotográficos na ordem de centímetros. Se for comparado a imagens de satélites e fotografias aéreas suborbitais, essa resolução é muito maior.

No que se trata das descobertas e resultados da pesquisa, esse trabalho cumpriu com seus objetivos. Também conseguiu demonstrar as transformações na paisagem, principalmente identificou os vários impactos aos quais a área de estudo está submetida. Apesar das medidas adotadas pela Prefeitura para a contenção da erosão, foi constatado que a mesma não está totalmente estável. Essas intervenções equivocadas levaram a um efeito reverso, causando mais degradação ambiental na área da pesquisa.

Outra questão que pode-se constatar no trabalho foi em relação à qualidade dos produtos gerados a partir dos imageamentos. As fotografias aéreas, por exemplo, apresentaram algumas deformações e arrasto. Isso tirou a nitidez de algumas partes do modelo, porém não foi tão relevante, uma vez que a resolução das demais era superior e a partir de um GSD de três centímetros e uma sobreposição de 60% lateral e longitudinal, pois os ortomosaicos apresentaram um padrão considerável para aplicação de monitoramento.

É relevante destacar a importância dos pontos de controle para o georreferenciamento dos produtos. Assim, a base cartográfica ficou mais rígida e melhor acurada. Outra questão percebida foi em relação ao processamento. Apesar do *Agisoft Photoscan* ter um algoritmo poderoso para gerar o Modelo Digital de Superfície, ele acabou falhando ao não identificar os pontos de controle na imagem, fazendo o operador executar essa operação manual. Também falha ao fazer a classificação das nuvens de pontos de uma forma automática, uma vez que o mesmo não faz a filtragem dos objetos acima da superfície, logo não é possível gerar Modelos Digitais de Terreno (MDT) com precisão

7 REFERÊNCIAS

- 3D ROBOTICS. **Iris +**. Disponível em: <<https://3dr.com/support/iris/>>. Acesso em: 28 jan. 2016.
- AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Drones**. Disponível em: <<http://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 18 mar. 2017.
- ALMEIDA, F. G; GUERRA, A. J. T. Erosão dos solos e impactos ambientais na cidade de Sorriso (Mato Grosso). In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Impactos ambientais urbanos no Brasil**, 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, Cap.6, p. 254-274.
- ALEZI TEODOLINI. **Equipamento GPS RTK**. Disponível em: <<http://www.aleziteo.com.br/equipamento-gps-rtk>>. Acesso em: 22 jan. 2016.
- ANDRADE, R. O. **O voo do falcão**. Revista Pesquisa FAPESP. São Paulo; v. 1, n. 211, set. 2013. p. 64-69. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/wp-content/uploads/2013/09/064_069_Vants_211.pdf?349dcc>. Acesso em: 20 fev. 2016.
- ARDUPILOT. **Mission Planner Home**. Disponível em: <<http://ardupilot.org/planner/index.html>>. Acesso em: 16 jan. 2016.
- ARAÚJO, G. H. S.; ALMEIDA, J. R.; GUERRA, A. J. T. **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, 2005. 320p
- AUSTIN, R. Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and. **Unmanned aircraft systems: UAVS design, development and**. Chippenham: Wiley & Sons, 2010.
- BARBOSA, B. J. B; PEREIRA, T. S. **Geração de base cartográfica para área de interesse histórico/cultural por meio de levantamento fotogramétrico adquirido com VANT (RPAS)**. 2017. 100 f. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Cartográfica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 2017. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/156583>>. Acesso em: 20 jan. 2017.
- BRASIL, G. G. **Monitoramento ambiental com a utilização de veículos aéreos não tripulados (VANTs)**. 2012. 107 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<http://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/27870>>. Acesso em: 16 jan. 2016.
- CANON. **PowerShot S100**. Disponível em: <<http://www.canon.com.br/produtos/produtos-para-voce/cameras/linha-powershot/serie-s/s100>>. Acesso em: 24. fev. 2016.
- CASSETI, V. **Geomorfologia**. [S.l.]: [2005]. Disponível em: <<http://www.funape.org.br/geomorfologia/>>. Acesso em: 09 jan. 2016.
- CEPAGRI/UNICAMP. **Clima dos Municípios Paulistas: A Classificação Climática de Koeppen para o Estado de São Paulo**. 2009. Disponível em: <http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_393.html>. Acesso em: 20 fev. 2016.

COELHO, M. C. N. Impactos Ambientais em áreas urbanas – teorias, conceitos e métodos de pesquisa. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. (orgs.). **Impactos Ambientais Urbanos no Brasil**, 2ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007, Cap. 1, p. 19-45.

D, OLEIRO OLTMANNNS, S. et al. Monitoring soil erosion in the souss basin, Morocco, with a multiscale object – based remote sensing approach using UAV and satellite data. In: **Anais 1ST Word Sustainability Forum**, 1-30 november 2011.

D, OLEIRO OLTMANNNS, S. Unamanned Aerial Vehicle (UAV) for monitoring soil erosion in Morocco. **Journal Remote Sensing**, v. 4, p. 3390 – 3416, 2012.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Drone(RPAS)**. Disponível em: <<https://www.decea.gov.br/drone/>>. Acesso em: 18 fev. 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Mapa Pedológico do Estado de São Paulo**. (João Bertoldo de Oliveira [*et. al.*]). Escala 1:500.000. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

FERREIRA, A. M. R. **Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16 2013, Foz do Iguaçu. Anais. São José dos Campos: INPE, 2013. p. 9308 - 9315. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1264.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2017.

FIGUEIRA, N. M. **Arranjos de sensores orientados à missão para a geração automática de mapas temáticos em VANTs**. 2016. 226 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências da Computação e Matemática Computacional - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação ICMC, São Carlos, 2016. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-12072016-102631/pt-br.php>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GUERRA, A. J. T. Experimentos e monitoramentos em erosão dos solos. **Revista do Departamento de Geografia**. São Paulo; v. 1, n. 16, jul. 2005. p. 32-37. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/rdg/article/view/47282/51018>>. Acesso em: 26 fev. 2016.

GUERRA, A. J. T.; JORGE, M. C. O. (Org.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. v. 1. 192p.

GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. (Org.); BOTELHO, R. G. M. (Org.). **Erosão e conservação dos solos - Conceitos, Temas e Aplicações**. 1. Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. V. 1. 339p .

IBGE. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Cidades. 2010**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/>>. Acessado em: 28 fev. 2016.

IBGE. (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Mapa de Biomas e de Vegetação**. Disponível em: <ftp://ftp.ibge.gov.br/Cartas_e_Mapas/Mapas_Murais/>. Acesso em: 11 jun. 2017.

IPT. (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Mapa Geológico do Estado de São Paulo**. (Carlos Alberto Bistrichi [*et. al.*]). Volume 1, escala 1:500.000. São Paulo, IPT 1981.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. Tradução: José Carlos Neves Epiphânio. [*et.al.*]. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

JORGE, L. A. C; INAMASU, Y. I. **Uso de veículos aéreos não tripulados (VANT) em Agricultura de Precisão**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/114264/1/CAP-8.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

LEPSCH, I. F. **Formação e conservação do solo**. São Paulo: Oficina de Textos 2002.
MAFRA, N. M. C. Erosão e Planificação de Uso do Solo. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação de solos: conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: Aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas**. 2010. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

LONGHITANO, A. G.; MANTOVANI, C.J; BELTRÃO, S. R. B. **As contribuições associadas ao uso de vants para monitoramento da evolução de processos erosivos em Sonora-MS**. In: YP&SS - Young Professionals and Summer School. Ed 2, 2016, Presidente Prudente: Unesp, 2016. Disponível em: <http://docs.fct.unesp.br/eventos/ypss/temp/P4_YPSS_2016_Juliana_Mantovani.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2016.

MEDEIROS, F. A **Desenvolvimento de um Veículo Aéreo Não Tripulado para Aplicação em Agricultura de Precisão**. 2007. 130 f. Dissertação no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de concentração em Mecanização Agrícola - Universidade Federal de Santa Maria, RS, 2007.

MINEROPAR. **Guia de Prevenção de Acidentes Geológicos Urbanos**. Disponível em:<http://www.mineropar.pr.gov.br/arquivos/File/publicacoes/Acidentes_Geologicos_Urbanos_2010.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2016.

MINISTÉRIO DA DEFESA COMANDO DA AERONÁUTICA DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. **ICA 100-40 Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Disponível em: <<http://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4487>>. Acesso em: 23 jan. 2016.

MORAES, T. T; PEJON, O. J. **Inventário das feições erosivas lineares e monitoramento de sua evolução em imagens CBERS e LANDSAT**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2013, Foz do Iguaçu – PR. Anais. São José dos Campos: INPE, 2013.

p. 1394 - 1401. Disponível em: < <http://www.dsr.inpe.br/sbsr2013/files/p1264.pdf>>. Acesso em: 9 jun. 2017.

MUNARETTO, L. **VANT e DRONES a aeronáutica ao alcance de todos**. 2015 ed. São Paulo: Edição independente, 2015.

NOVO, E. M. L. **Sensoriamento Remoto, princípios e aplicações**. 2 ed. São Paulo: Blucher, 1992.

OLIVEIRA, M. A. T. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S. e BOTELHO, R. G. M. **Erosão e Conservação de Solos: Conceitos, temas e aplicações**. 2ª ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA ALIMENTAÇÃO E AGRICULTURA. **Status of the World's Soil Resources**. Disponível em: <<http://www.fao.org/documents/card/en/c/c6814873-efc3-41db-b7d3-2081a10ede50/>>. Acesso em: 26 mar. 2016.

RASI, J. R. **Desenvolvimento de Um Veículo Aéreo Não Tripulado para Pulverização Agrícola**. 2008. 70 f. Monografia (Especialização em Engenharia Rural gerenciamento e utilização de Máquinas Agrícolas)-Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2008. Disponível em: <<http://sindag.org.br/wp-content/uploads/2017/03/vant008.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2016.

REDWEIK, P **FOTOGRAMETRIA AÉREA**. 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/268329721_FOTOGRAMETRIA_AEREA>. Acesso em: 23 jan. 2016.

RODRIGUES, A. A. **USO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS PARA MAPEAMENTO E AVALIAÇÃO DE EROSIÃO URBANA**. 2016. 140 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA-UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS, GOIÂNIA, 2016. Disponível em: <<https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/6646>>. Acesso em: 20 dez. 2016

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. 1997. Escala 1: 50.000.

SANTOS, A. L. L; FARIA, E. E. **Mapeamento e monitoramento de processos erosivos a partir de imagens Ikonos: Um estudo de caso da área urbana do Município de Queluzito (MG)**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2011, Curitiba. Anais. São José dos Campos: INPE, 2011. P. 5716 – 5721. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p1314.pdf>>. Acesso em: 9 fev. 2016.

SDCI. (SECRETARIA DE DESENVOLVIMENTO E COMPETITIVIDADE INDUSTRIAL). **Relatório de Estudo sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados**. Disponível em: <http://www.mdic.gov.br/images/publicacao_DRONES-20161130-20012017-web.pdf>. Acesso em: 1 jan. 2017.

SILVA, A. M. **Erosão e hidrossedimentologia em bacias hidrográficas**. 1. ed. São Carlos: RIMA, 2003-2004.

SOBRAL, A. C. **Caracterização e Análise dos Impactos do Uso Inadequado e Irregular do Solo Urbano**: o caso do córrego Água da Veada, município de Ourinhos/SP. 2011. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Geografia - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho. Câmpus Ourinhos – SP.

TOMMASELLI, A. M. G. **Fotogrametria Básica**. [S.l.]: UNESP - Universidade Estadual Paulista, 2009.