



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

ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS EM UMA ÁREA DE DIRETRIZES ESPECIAIS DE
NOVA LIMA, MINAS GERAIS COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

RAFAEL FALCI ERCOLE

BELO HORIZONTE

2019

RAFAEL FALCI ERCOLE

ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS EM UMA ÁREA DE DIRETRIZES ESPECIAIS DE
NOVA LIMA, MINAS GERAIS COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

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

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Valéria Cristina Palmeira Zago

BELO HORIZONTE

2019

ERCOLE, Rafael Falci

S ---

Estudo dos Processos Erosivos em uma Área de Diretrizes Especiais de Nova Lima, Minas Gerais com Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado / Rafael Falci Ercole. – Registro: 2019

127f; 30cm

Orientador (a): Prof^a. Dr^a. Valéria Cristina Palmeira Zago

Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2018.

1.. 2. . 3.. I. Zago, Valéria Cristina Palmeira. II. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. III. Uso Estudo dos Processos Erosivos em uma Área de Diretrizes Especiais de Nova Lima, Minas Gerais com Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado.

CDD -----

RAFAEL FALCI ERCOLE

ESTUDO DOS PROCESSOS EROSIVOS EM UMA ÁREA DE DIRETRIZES ESPECIAIS DE
NOVA LIMA, MINAS GERAIS COM USO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO

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

Data de aprovação: 25/06/2019

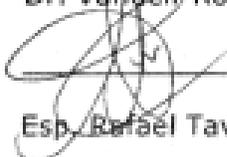
Banca Examinadora:



Dr. Valéria E. P. Zago - Presidente - Orientadora- CEFET-MG



Dr. Vander Robson da Silva Matias -CEFET-MG



Esp. Rafael Tavares de Lucena Lotti Vieira

RESUMO

ERCOLE, R. F. *Estudo dos Processos Erosivos em uma Área de Diretrizes Especiais de Nova Lima, Minas Gerais Com Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado*. 2019. 127f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

Uma parcela significativa dos solos do planeta, atualmente, sofre com a degradação, sobretudo, devido aos processos de erosivos. Neste sentido, o monitoramento ambiental é importante e deve estar inserido no contexto da gestão ambiental, tomada de decisões e suporte à fiscalização. Diante disso, as geotecnologias são ferramentas fundamentais para o gerenciamento e monitoramento da superfície terrestre. Imagens de satélites, muitas vezes, podem ser insuficientes para um mapeamento detalhado de elementos que requerem grandes resoluções espaciais. O uso de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT constitui uma ferramenta importante para obtenção de imagens aéreas de baixa altitude, sendo uma alternativa de baixo custo de aquisição, operação e manutenção para o monitoramento dos processos erosivos. O presente estudo buscou avaliar a aplicabilidade de um VANT de baixo custo no monitoramento dos processos erosivos em uma área de diretrizes especiais, localizada na região Norte de Nova Lima, em Minas Gerais. Utilizou-se um drone modelo DJI Mavic Air e software Drone Deploy para realizar um mapeamento aéreo de parte do Vale do Estrangulado e das voçorocas contidas no local, criando, posteriormente, dois ortomosaicos e dois Modelos Digitais de Superfície (MDS) referentes às áreas de interesse. Os ortomosaicos apresentaram qualidade satisfatórias, com resoluções espaciais de 2 cm/pixel e 3,8 cm/pixel. A primeira voçoroca apresentou formato bifurcado, tamanho de 1,516 hectares e aproximadamente 68.195,5 m³ de solo erodido, enquanto a segunda voçoroca apresentou formato irregular, tamanho de 0,708 hectares e aproximadamente 49.409,7 m³ de solo erodido. O uso do drone para estudo dos processos erosivos mostrou-se bastante promissor, permitindo obter informações rápidas e precisas para o dimensionamento e caracterização das voçorocas.

Palavras-chave: Erosão do Solo, Voçoroca, Veículo Aéreo não Tripulado, Ortomosaico.

ABSTRACT

ERCOLE, R. F. *The study of erosion processes in a Special Guidelines Area of Nova Lima, Minas Gerais Using Unmanned Aerial Vehicle*. 2019. 127p. Monograph (Undergraduate in Environmental and Sanitary Engineering) – Department of Environmental Technology and Science, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

A significant portion of the planet's soils currently suffers from soil degradation, mainly due to erosive processes. Therefore, environmental monitoring is important and should be included in the context of environmental management, decision making and surveillance support. Hence, the geotechnologies consist in a fundamental tool for the management and monitoring of terrestrial surface. Satellite images may often be insufficient for detailed mapping of elements that require large spatial resolutions. Unmanned aerial vehicle (UAV) is an important tool to capture low altitude aerial images and it's a low cost alternative for operation and maintenance of erosion processes. The present study was sought to evaluate the applicability of a low cost UAV to monitoring erosive processes in a Special Guidelines Area, located in the Northern region of Nova Lima, Minas Gerais. A DJI Mavic Air drone and the software Drone Deploy were used to map part of the Vale do Estrangulado and the gully erosion located in the site. Posteriorly, two orthomosaic and two Digital Surface Models (DSM) referring to the areas of interest were created. The orthomosaics obtained satisfactory quality, with spatial resolutions of 2 cm / pixel and 3.8 cm / pixel. The first voçoroca had a bifurcated shape, size of 1,516 hectares and approximately 68.195.5 m³ of eroded soil, while the second voçoroca presented an irregular shape, size of 0,708 hectares and approximately 49.409.7 m³ of eroded soil. The use of the drone to study the erosion processes was very promising, allowing quick and accurate information to dimension and characterize the gullies.

Keywords: Soil Erosion, Gully Erosion, Unmanned Aerial Vehicle, Ortomosaic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estágio inicial do processo erosivo por salpicamento.....	5
Figura 2: Equipamento de Ensaio de Inderbitzen do LMS/UFRGS.....	6
Figura 3: Talude trabalhado com obras de bioengenharia em Belo Horizonte.....	13
Figura 4: Taludes em recuperação no Baixo São Francisco (SE).....	14
Figura 5: Diferentes técnicas de bioengenharia.	14
Figura 6: Superposição longitudinal de imagem obtida por aerofotogrametria.	17
Figura 7: Mosaico semicontrolado da Península Keller.	18
Figura 8: Localização, loteamento e parcelamento da ADE Vila Da Serra, Nova Lima – MG...	24
Figura 9: Localização da bacia do córrego Estrangulado.	25
Figura 10: Área de estudo contendo processos erosivos a serem estudados.	26
Figura 11: Diagrama da aeronave, modelo DJI Mavic Air.....	27
Figura 12: Sistema de Visão da aeronave de modelo DJI Mavic Air.....	29
Figura 13: Diagrama do Controle da aeronave de modelo DJI Mavic Air.....	29
Figura 14: Planos de voo no Software Drone Deploy.	31
Figura 15: Plano de voo Vale do Estrangulado 01.	33
Figura 16: Interface Drone Deploy com os parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 01.	34
Figura 17: Altitude de voo e resolução espacial da missão Vale do Estrangulado 01.....	35
Figura 18: Plano de voo Vale do Estrangulado 02.	36
Figura 19: Interface Drone Deploy com parâmetros de voo da missão Vale do Estrangulado 02.	37
Figura 20: Altitude de voo e resolução espacial da missão Vale do Estrangulado 02.....	38
Figura 21: Plano de voo Vale do Estrangulado 03.	39
Figura 22: Interface Drone Deploy com parâmetros de voo da missão Vale do Estrangulado 03.	40
Figura 23: Altitude de voo, resolução espacial e Structure Mode acionado na missão Vale do Estrangulado 03.	41
Figura 24: VANT modelo DJI Mavic Air em operação para mapeamento da área de estudo e estação de comando conectado ao dispositivo IOS.	42

Figura 25: Modelo de evolução de voçorocas.	43
Figura 26: Diagrama ilustrando ocorrência de voçorocas conectadas a rede de drenagem/canal fluvial (A) e voçorocas desconectadas a rede de drenagem/canal fluvial (B).	43
Figura 27: Formas das voçorocas.	44
Figura 28: Voçoroca V1 e V2 e incisões.	47
Figura 29: Pontos de Controle dos planos de voo Vale do Estrangulado 01 e 02.	48
Figura 30: Projeção das ortofotos com sobreposições laterais e frontais referentes aos planos de voo Vale do Estrangulado 01 e 02.	48
Figura 31: Pontos de Controle do plano de voo Vale do Estrangulado 03.	49
Figura 32: Projeção das ortofotos com sobreposições laterais e frontais referentes ao plano de voo Vale do Estrangulado 03.	50
Figura 33: Ortomosaicos da área de estudo (voçorocas V1 e V2).	51
Figura 34: Ortomosaicos do Vale do Estrangulado.	52
Figura 35: Erro de precisão absoluta verificado nos ortomosaicos gerados.	54
Figura 36: MDS das voçorocas em posições variadas.	55
Figura 37: MDS do vale em posições variadas.	56
Figura 38: Imagem raster da área de entorno (A) e voçorocas V1 e V2 (B).	57
Figura 39: MDE gerado através do software Drone Deploy.	58
Figura 40: Relação vegetação e solo exposto no interior das voçorocas V1 e V2.	59
Figura 41: Relação vegetação e solo exposto na área de entorno das voçorocas V1 e V2.	60
Figura 42: Área de Contribuição da Nascente do Córrego do Estrangulado.	61
Figura 43: Ortomosaico da voçoroca V1 mostrando formato bifurcado.	63
Figura 44: Histórico de Imagens de satélite indicando o surgimento da incisão V1-a.	64
Figura 45: MDS mostrando a situação atual da área contendo a incisão V1-a e MDS mostrando intervenções estruturais no terreno para retardar o fluxo do escoamento superficial.	65
Figura 46: Intervenções estruturais no terreno.	66
Figura 47: Curvas de nível (5 metros) sobrepostas à imagem de satélite, em 2008.	67
Figura 48: Revegetação ineficiente nos taludes após finalização das obras, em 2009.	68
Figura 49: (A) Imagem de satélite identificando canaletas de drenagem em processo de colapso, em 2009, na incisão V1-a. (B) MDS mostrando canaletas de drenagem colapsadas na cabeceira da voçoroca V1 atualmente.	69

Figura 50: MDS mostrando presença de entulhos da construção civil despejados clandestinamente no interior da voçoroca V1.....	70
Figura 51: Histórico de imagens de satélite indicando o surgimento da incisão V1-b.....	72
Figura 52: MDS indicando incisão V1-b em período atual.	73
Figura 53: Ortomosaico da Voçoroca V2 mostrando forma irregular.	74
Figura 54: voçoroca V2 em 2002.....	75
Figura 55: área de retirada de areia (A) e recortes antigos no solo (B), próximos à voçoroca V2, em 2002.....	76
Figura 56: Aba Tools contendo as ferramentas de dimensionamento do software.	77
Figura 57: Algoritmos para maior acurácia no cálculo de volumes.	78
Figura 58: Volume da voçoroca V1 e V2.	80
Figura 59: Delimitação das áreas das voçorocas V1 e V2.....	82
Figura 60: Comparativo da evolução das áreas erodidas na voçoroca	83
Figura 61: Desprendimento e acúmulo de solo no interior da voçoroca V1.	85
Figura 62: Relação de solo exposto e vegetação na voçoroca V1.	86
Figura 63: Comparativo da evolução das áreas erodidas na voçoroca V2	87
Figura 64: Relação de solo exposto e vegetação na voçoroca V2.	88
Figura 65: Vegetação na cabeceira e lateral da voçoroca V2 no cenário atual.....	89

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Características da Câmera presente na aeronave de modelo DJI Mavic Air.	28
Tabela 2: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 01.	33
Tabela 3: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 02.	36
Tabela 4: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 03.	39
Tabela 5: Tamanho de voçorocas com base em volume de solo erodido	44
Tabela 6: Área em hectares das voçorocas V1 e V2 ao longo dos anos.	81

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	79
Equação 2	83
Equação 3	83

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ADE – Área de Diretrizes Especiais
ANATEL – Agência Nacional de Telecomunicações
ARP – Aeronave Remotamente Pilotada
ASP – American Society of Photogrammetry
ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
CGP – Ground Control Points
DECEA – Departamento de Controle do Espaço Aéreo
EUPS – Equação Universal de Perda de Solo
FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura
GDEM – Global Digital Elevation Model
GPS – Global Positioning System
LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal
MAC – Mina de Águas Claras
MBR – Minerações Brasileiras Reunidas S.A.
MDE – Modelo digital de Elevação
MDS – Modelo Digital de Superfície
METI – Ministério de Economia, Indústria e Comércio do Japão
NASA – Agência Espacial NorteAmericana
OACI – Organização da Aviação Civil Internacional
PMD – Peso Máximo de Decolagem
PPK – Post Processed Kinematic
RPAS – Remotely Piloted Aircraft System
RPPN – Reserva Particular do Patrimônio Natural
RTK – Real-time kinematic
SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission
UAS – Unmanned Aircraft System
UAV – Unmanned Aerial Vehicle
USLE – Loss Equation

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

VARI – Visible Atmospherically Resistant Index

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVO.....	3
2.1 Objetivo Gera.....	3
2.2 Objetivos Específicos.....	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Fatores Influenciadores da Erosão.....	4
3.1.1 Chuva.....	4
3.1.2 Erodibilidade do Solo.....	5
3.1.3 Declividade e Comprimento de Declive.....	7
3.1.4 Cobertura Vegetal.....	8
3.2 Estabilidade de Taludes.....	9
3.2.1 Estabilização de Taludes em Voçoroca.....	9
3.2.2 Técnicas de Bioengenharia com Potencial de Aplicação no Solo.....	11
3.3 Monitoramento Ambiental.....	14
3.3.1 Fotogrametria no Monitoramento Ambiental.....	15
3.3.1.1 Fotointerpretação.....	18
3.3.1.2 Modelos Digital de Superfície.....	20
3.4 Veículos Aéreos não Tripulados.....	21
3.4.1 Conceito.....	21
3.4.2 Classificação.....	21
3.4.3 Legislação.....	22
4 MATERIAIS E MÉTODOS	23
4.1 Caracterização da Área de Estudo.....	23
4.1.1 Área de Diretrizes Especiais Vila da Serra.....	23
4.1.2 Área de Estudo.....	24

4.2 Equipamento.....	26
4.2.1 Vant.....	26
4.2.2 Drone Deploy.....	30
4.3 Planejamento e Execução de Voo.....	30
4.3.1 Missão Vale do Estrangulado 01.....	32
4.3.2 Missão Vale do Estrangulado 02.....	35
4.3.3 Missão Vale do Estrangulado 03.....	38
4.4 Classificação das Voçorocas por Tipo, Forma e Tamanho.....	42
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
5.1 Estudo de Campo.....	45
5.1.1 Reconhecimento Prévio.....	46
5.2 Processamento de Dados.....	47
5.2.1 Mapas.....	50
5.2.1.1 Ortomosaico.....	50
5.2.1.2 Modelos Digitais de Superfície.....	55
5.2.1.3 Modelo Digital de Elevação.....	57
5.2.1.4 Plant Health.....	58
5.3 Caracterização das Voçorocas.....	60
5.3.1 Tipo, Forma e Tamanho.....	61
5.3.1.1 Análise da Voçoroca V1.....	62
5.3.1.1.1 Incisão V1-a.....	63
5.3.1.1.2 Incisão V1-b.....	70
5.3.1.2 Análise da Voçoroca V2.....	73
5.3.1.3 Dados Métricos das Voçorocas.....	77
5.3.1.3.1 Estimativa do Volume de Solo Erodido.....	77
5.4 Comparativo de Expansão.....	81
5.4.1 Área de Erosão.....	81
6 CONCLUSÃO.....	90

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	91
8 BIBLIOGRAFIA.....	92

1 INTRODUÇÃO

De acordo com um estudo realizado pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO (2015), pouco mais de 30% dos solos do planeta estão degradados e possuem, como uma das causas principais, a erosão.

A erosão do solo se dá devido a ações combinadas que acarretam a degradação e, posteriormente, o transporte de fragmentos dos solos e rochas sobre a superfície terrestre. Dentre os vários agentes que dão origem aos processos de erosão, podemos citar as águas das chuvas como uma das principais fontes, uma vez que contribuem, através do escoamento superficial, para o desprendimento e transporte de partículas.

Neste sentido, a vegetação atua como obstáculo para o escoamento superficial, favorecendo, assim, a infiltração e minimizando riscos de erosão. Servem, também, como corredores de biodiversidade, importantes para a fauna e a flora da região. Desse modo, a importância física das áreas de preservação está diretamente ligada à busca por um desenvolvimento sustentável (GUIMARÃES, 2015).

O monitoramento ambiental é importante e deve estar inserido no contexto de gestão ambiental, tomadas de decisão e como suporte para a fiscalização, sendo definido como a medição contínua ou sazonal em um determinado ambiente, podendo representar o uso e ocupação do solo.

Diante disso, as geotecnologias são ferramentas fundamentais para o gerenciamento e monitoramento da superfície terrestre, apontando soluções em relação às formas de uso e ocupação dos solos. Entretanto, como o ambiente urbano é extremamente complexo e heterogêneo, com a presença de edifícios, estradas e gramados, somados a padrões espaciais complicados, as imagens de média resolução espacial, como as de Landsat TM5, muitas vezes podem ser insuficientes para um mapeamento detalhado do perímetro urbano. Além disso, o uso da Topografia é dificultado devido ao fato das erosões localizadas em ambiente urbano, ocuparem, normalmente, pequenas áreas, sofrendo maiores degradações nos períodos chuvosos (RODRIGUES, 2016).

No Brasil, o monitoramento por fotogrametria convencional é inviável, já que o tempo de deslocamento da aeronave é muito alto. Somado a isso, o custo do método convencional é muito superior se comparado ao uso de levantamentos topográficos. Segundo Eisenbeiß (2009), o uso

de Veículo Aéreo Não Tripulado – VANT faz-se uma ferramenta adequada para obtenção de imagens áreas de baixa altitude e constituem uma alternativa para criação de modelos tridimensionais através da fotogrametria.

O presente estudo abordará o uso de VANT como ferramenta de apoio ao estudo dos processos erosivos urbanos, em uma área de diretrizes especiais, localizada no bairro Jardim da Torre, no município de Nova Lima, Minas Gerais. Neste sentido, O VANT surge como alternativa para o monitoramento dos processos erosivos, uma vez que o aerolevanteamento com uso desta tecnologia poderá ser realizado em qualquer época do ano, com baixo custo de aquisição, operação e manutenção.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Avaliar a aplicabilidade de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) no monitoramento dos processos erosivos em uma área de diretrizes especiais, na região Norte de Nova Lima-MG.

2.2 Objetivos Específicos

- Realizar imageamento aéreo com uso de VANT em uma voçoroca urbana;
- Confecção de um Ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS), através de software Drone Deploy e VANT, para estudo e análise da voçoroca no período atual;
- Estudar as voçorocas presentes no bairro Jardim da Torre;
- Comparar a evolução das voçorocas ao longo dos anos, utilizando imagens de satélite, ferramentas do Google Earth e imagens atuais obtidas através de VANT;
- Avaliar a intervenção antrópica na área de estudo e correlacionar com a formação da voçoroca;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Fatores Influenciadores da Erosão

A erosão do solo é amplamente definida como a remoção acelerada do solo da superfície terrestre através das ações da água e do vento (FAO, 2015).

Este processo ocorre em duas fases. Primeiramente, verifica-se a remoção das partículas do solo. Em sequência, estas partículas sofrem transporte. Posteriormente, este material transportado sofrerá deposição (GUERRA; BOTELHO, 1995).

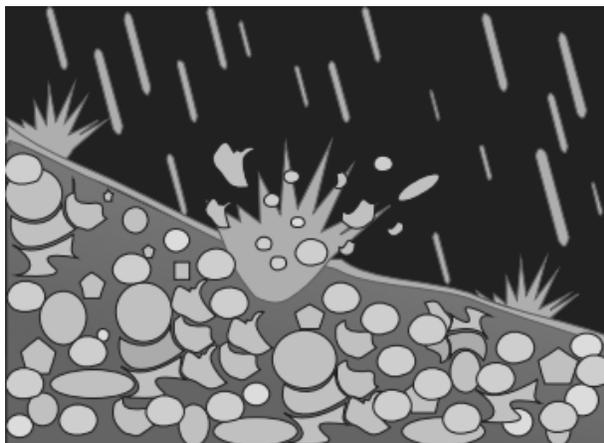
Segundo Carvalho et. al. (2006), os processos erosivos dependem do potencial de erosividade proveniente da chuva e do escoamento superficial, conhecidos como fatores externos. Também dependem dos fatores internos, correspondentes a desagregabilidade e erodibilidade do solo. Os processos erosivos também estão relacionados às características geológicas e geomorfológicas do local.

3.1.1 Chuva

As águas das chuvas são os principais agentes causadores da erosão do solo, sendo a presença de água, de modo geral, exigida sobre o terreno em toda erosão da superfície terrestre. As perdas de solo ocasionadas pela erosão, no que tangem os aspectos de volume e intensidade, são influenciadas pela duração, intensidade e distribuição das chuvas (NETO; PASTANA, 1972).

As precipitações pluviais atuam bombardeando o solo através das gotículas de água que, ao se chocarem com as partículas do solo, causam o desprendimento e a dispersão das mesmas. As partículas que sofreram dispersão tornam-se suscetíveis ao arraste mecânico produzido pelo escoamento superficial, também chamado de ‘runoff’, que é originado das precipitações pluviais. O deflúvio hídrico que ocorre na superfície, juntamente com o processo de erosão por salpicamento ou ‘efeito splash’ (Figura 1), que é a desagregação do solo causado pelo impacto das gotas de chuva na superfície, constituem-se os dois principais fenômenos causadores da erosão pluvial, de forma que a chuva seja o elemento do clima mais importante nos processos de erosão. (SALVADOR, 2003).

Figura 1: Estágio inicial do processo erosivo por salpicamento.



Fonte: (Guerra, 1998)

Os impactos das gotas de chuva correspondem somente ao estágio inicial da erosão do solo e podem evoluir com o passar do tempo. Interferem no processo de erosão os seguintes aspectos: tipo do solo, a cobertura vegetal, o arranjo interno das partículas de solo, a germinação de sementes, o enraizamento e fixação da cobertura vegetal (SIMÕES, 2013).

Estudos no município de Serra Talhada, no estado de Pernambuco, realizados por Jardim et al. (2017), objetivaram estimar as perdas de solo por erosão hídrica no intervalo de 1996 a 2015, em dois tipos de solo do município, utilizando método da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS), também conhecida como *Universal Soil Loss Equation* (USLE), para estimar a perda de solo da área de estudo. Os índices de erosão para o Planossolo e Argissolo foram considerados fracos e o estudo concluiu que o Planossolo Háplico é mais suscetível à perda de solo que o Argissolo Vermelho-Amarelo.

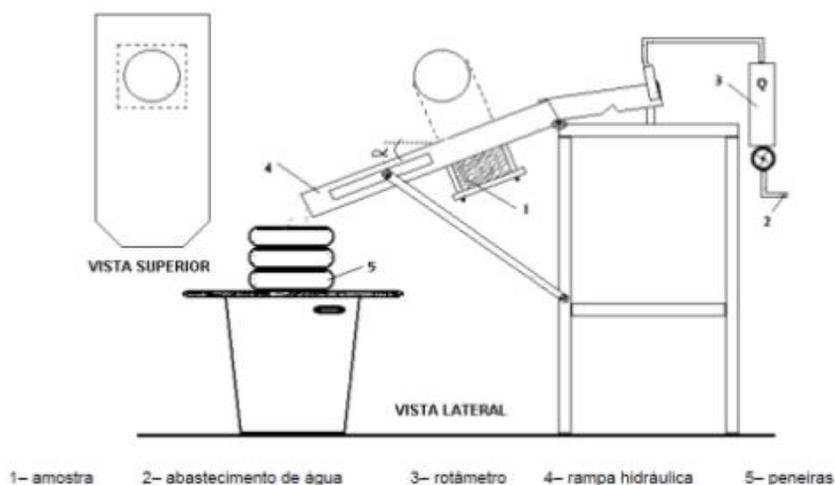
3.1.2 Erodibilidade do Solo

A erodibilidade do solo diz respeito à sua suscetibilidade em sofrer erosão. Está relacionado à tendência do solo em sofrer desprendimentos de partículas. Segundo a Soil Science Society of America (2008), a erodibilidade do solo refere-se ao grau ou à suscetibilidade à erosão em que o solo se encontra.

Segundo Santos (2006), a granulometria é a propriedade do solo mais estudada no que tange a erodibilidade. Uma das maneiras de determinar diretamente a erodibilidade dos solos é

através do Ensaio de Inderbitzen (Figura 2), apresentado em seu estudo “An erosion test for soils”, em 1961. O ensaio é também conhecido como erosômetro ou, ainda, ensaio de erosão. É ensaio é amplamente utilizado devido ao seu grau de simplicidade e baseia-se na simulação de escoamento superficial em uma determinada vazão e inclinação. No ensaio, são verificadas as perdas de solo com o passar do tempo. Este método permite verificar o comportamento do solo frente a um escoamento superficial, bem como averiguar a influência de fatores como a compactação do solo, declividade de rampa, vazão e duração do fluxo (INDERBITZEN, 1961).

Figura 2: Equipamento de Ensaio de Inderbitzen do LMS/UFRGS



Fonte: (Bastos, 1999)

Pode-se, também, citar formas indiretas de ser verificar a erodibilidade, como por exemplo, por meio do ensaio de granulometria, regido pela norma NBR7184 (1984). Dos Santos (2015), cita os ensaios de caracterização química, através de medição de pH, teor de cálcio, sódio e magnésio, e os ensaios mineralógicos, através da identificação do teor de minerais argílicos, que utilizam métodos químicos ou microscópios de varredura. Há ainda os ensaios de compressão simples e cisalhamento direto, na qual a erosão é simulada como processo de cisalhamento, de forma que as forças erosivas são superiores às forças resistivas do solo. Neste ensaio pode ser observada a perda de resistência do solo em função do teor de umidade.

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil de Portugal (LNEC) e o Laboratório Nacional de Angola realizaram estudos sobre a erodibilidade de solos tropicais, no que tange

obras de corte de estrada. Foi observado que a granulometria apresentava-se como fator determinante para a disposição a erosão.

A erodibilidade atrelada à erosão eólica e o transporte de poeira, também têm sido estudados por muitos anos. Em 1646, Wendelin estudou a chuva roxa, em Bruxelas, atualmente conhecida como poeira colorida, transportada da África em direção a Europa (STOUT et al., 2009). Charles Darwin também estudou a poeira que caiu no HMS Beagle, nas décadas de 1830 e 1840. A poeira coletada continha microrganismos viáveis ainda hoje (GORBUSHINA et al., 2007).

Uma revisão crítica acerca dos fatores que controlam a susceptibilidade dos solos a erosão, sobretudo voltado para a erosão eólica, foi fornecida por Webb e Strong (2011). Segundo os autores, os fatores que controlam a erodibilidade do solo pela ação do vento, incluem características físicas, químicas e biológicas do solo. Fatores como: a textura, a agregação, a estabilidade, a quantidade de sedimentos soltos e disponíveis no solo, os teores de matéria orgânica e água presente no solo, os constituintes químicos e a rugosidade proveniente das características da superfície, estão diretamente ligados a erodibilidade do solo pela ação do vento.

3.1.3 Declividade e Comprimento de Declive

A declividade de um terreno corresponde à sua inclinação. Seu valor geralmente é dado em porcentagem ou pela relação entre as suas medidas, vertical e horizontal. Já o comprimento de rampa corresponde à distância entre o ponto mais alto do terreno, onde se inicia o fluxo de sedimentos, até o ponto mais baixo, onde ocorre a deposição do material transportado. A perda de solo aumenta com o aumento do comprimento de rampa (DOS SANTOS, 2015).

A declividade é um fator diretamente envolvido com o volume e a velocidade do escoamento superficial. Assim, a erosão é maior em terrenos que apresentam maiores declividades, com rampas ou lançantes mais extensos e regulares. Estima-se que a perda de solo para terrenos com declividade média, ou seja, entre 6% e 8%, seja três vezes maior em uma rampa de 100 metros do que em uma rampa de 25 metros de extensão (SALVADOR, 2003).

Segundo Bertoni (1959), a topografia do terreno tem acentuada influência no que tange as perdas de solo por erosão, especialmente em função do grau de declividade do terreno, que influencia diretamente na perda de solo, uma vez que está atrelado ao volume e a velocidade das enxurradas. Quanto maior a declividade, maior será a velocidade de escoamento superficial, e

consequentemente, menor será o tempo para que a água sofra infiltração no solo, o que resulta em maiores volumes de enxurradas.

3.1.4 Cobertura Vegetal

Ao longo do tempo, o uso da vegetação tem sido amplamente praticado com finalidades relacionadas a redução de impactos gerados através da ação das águas (EVETTE et al., 2009)

O uso de cobertura vegetal é uma técnica amplamente utilizada, apresentando alto grau de eficiência no controle dos processos erosivos e contenção de encostas (DABNEY; GUMIERE, 2013). Para Fullen e Booth (2006), a cobertura vegetal reduz drasticamente a movimentação de material, o que reflete na diminuição das quantidades de sedimentos gerados.

De acordo com Morgan e Rickson (1995), o uso da cobertura vegetal para recobrimento do solo é adequada para a proteção contra processos erosivos. Entretanto, deve-se observar que o uso de vegetação inadequada pode ocasionar resultados não satisfatórios ou negativos para a conservação do solo.

As raízes da cobertura vegetal podem proporcionar a estabilização de movimentos de massa e aumento da resistência contra processos de cisalhamento no solo, atuando como tirantes e promovendo a fixação dos materiais do talude (COELHO; PEREIRA, 2016).

A vegetação atua por meio de seus sistemas radiculares, aumentando a coesão do solo em áreas erodidas pela atuação das águas das chuvas. Dessa forma, proporcionam uma melhora na estabilidade de taludes e modificam diretamente as propriedades do solo (BURYLO et al, 2016).

A Embrapa (2015), afirma que a utilização de espécies nativas visando à reabilitação de áreas é uma das melhores alternativas para combater processos de degradação. Entretanto, as espécies escolhidas para a revegetação necessitam apresentar afinidade com os solos, o clima e as demais espécies da região.

Resultados obtidos por Angelis e Oliveira (2004), mostram, através de dados percentuais, a importância da utilização da vegetação em processos de recuperação de áreas degradadas. De acordo com os autores, a vegetação é um elemento estabilizador dos processos erosivos e podem ser usados como medidas biológicas e físicas, servindo, assim, como barreiras naturais para a degradação.

É comum a utilização de biomantas para viabilizar o crescimento da cobertura vegetal em locais de elevada declividade. Este processo ajuda também na fixação das plantas no local. As

biomantas podem ser de dois tipos: sintéticas ou naturais biodegradáveis, sendo esta última, bastante comercializada regionalmente, o que viabiliza seu uso para a recuperação de áreas degradadas (MARIANI, 2016).

3.2 Estabilidade de Taludes

Segundo Correa (2006), os taludes constituem-se de terrenos com inclinações, com funções de garantir sustentação e estabilidade ao solo em partes mais elevadas, conhecidas como platô.

Processos erosivos em taludes possuem efeitos mais drásticos em taludes de maiores inclinações, uma vez que o escoamento superficial acaba fazendo o arraste de partículas do solo, o que provoca o aparecimento de sulcos no terreno, que mais tarde poderão se desenvolver, dando origem a ravinas e voçorocas. Este processo de erosão é comum em períodos chuvosos e pode comprometer a estabilidade dos taludes, bem como sua fertilidade (NEVES et al., 2006).

Neste sentido, Alberte et al. (2005) defende que é extremamente importante que os taludes, sobretudo os artificiais, estejam cobertos por vegetação adequada, desde o momento em que são construídos, o que é comum em taludes de rodovias, aterros sanitários e edificações prediais.

A inclinação do terreno pode reduzir a capacidade produtiva e determinar o potencial erosivo do solo. Somado a isso, maiores ângulos de declividade de taludes contribuem para que a energia potencial das águas pluviais se transforma mais rapidamente em energia cinética. Este fato aumenta a velocidade do escoamento superficial e a capacidade de transporte da água (SILVA, 2016).

3.2.1 Estabilização de Taludes em Voçoroca

Desde o início de sua colonização, nota-se no Brasil ao uso e ocupação do solo de forma inadequada pelo homem. Este processo tem grande influencia na formação dos sulcos, ravinas e voçorocas, sendo esta última a maior evidência da degradação do solo. Normalmente, o processo de voçorocamento ocorre na presença de sistemas de drenagem superficiais ineficientes ou inexistentes, o que é comum em taludes rodoviários e em margens de estradas desprotegidas. (EMBRAPA, 2005)

A voçoroca é o estágio mais avançado de erosão acelerada e causa severos danos. Origina-se com o desenvolvimento gradual do processo de ravinamento, até que ele atinja o lençol freático. Existem três tipos de voçorocas: ovoides, coalescentes e lineares (MARQUES, 2017).

Guerra e Botelho (1995) explicam que as voçorocas são incisões erosivas no solo, superiores a 50 centímetros de largura e profundidade. Outro autor, afirma que as voçorocas consistem de sulcos com profundidades superiores a 30 centímetros e larguras superiores a 60 centímetros (PRUSKY, 2009).

Com relação às causas que levam ao processo de voçorocamento, pode-se afirmar, segundo Oliveira (1999), que são causados por uma pluralidade de fatores, atuando em diferentes escalas temporais e espaciais. Estes fatores derivam de rotas tomadas pelos fluxos de água, que podem ocorrer tanto superficialmente quanto subsuperficialmente.

As origens e evoluções das voçorocas estão, muitas vezes, atreladas ao desenvolvimento de antigas estradas, sobretudo as estradas rurais antigas, bem como os valos limítrofes de propriedades. As voçorocas também acabam por sofrer impactos antrópicos diretos, que ocorrem em suas bacias de contribuição, bordas e interiores. Este fato acaba contribuindo para o processo erosivo e dificulta a recuperação natural deste fenômeno geológico (FERREIRA et al., 2011).

As voçorocas também podem surgir através de processos naturais. Segundo a Embrapa (2005), as voçorocas fazem parte da dinâmica natural de evolução do relevo terrestre e podem surgir a partir de deslizamentos de terra, expondo os horizontes subsuperficiais. Também possuem origens atreladas. O processo de formação de voçorocas pode ser naturalmente estabilizado com o passar do tempo de evolução. Isto ocorre devido a redução da disponibilidade de material a ser erodido. Quando isso ocorre, a tendência é que a vegetação de entorno se estabeleça dentro da voçoroca, acarretando sua estabilização, processo que demanda longo prazo.

Além de estarem relacionadas aos processos naturais, bem como ao uso e ocupação inadequado do solo, as voçorocas podem, segundo Barth (1989), serem formadas em encostas e taludes por consequências diretas da influência do homem sobre a paisagem.

Nestes casos, deve haver o retaludamento e contenção dos taludes da voçoroca. Este tipo de interferência consiste na movimentação de terra, visando a diminuição da inclinação das encostas da voçoroca. Assim, aumenta-se a estabilidade dos taludes, de forma a evitar o avanço da erosão. Nesse sentido, as encostas devem ter suas cristas quebradas e retaludadas, para

apresentarem declividade estável, contendo ângulos de 50°, declividade natural de estabilização. A estabilidade de taludes depende dos seguintes fatores como: propriedades físicas e mecânicas dos materiais, forma do talude e dos maciços adjacentes e por último, da influência da pressão de água. Os métodos para o aumento da estabilidade dos taludes de voçorocas são (FERREIRA, 2015):

- 1) Diminuição da inclinação do talude para melhor da estabilidade. Entretanto, essa medida aumenta a exposição da área à erosão pluvial;
- 2) Drenagem superficial ou profunda;
- 3) Construção de bermas;
- 4) Estaqueamento no pé do talude com estacas pranchas;
- 5) Confeção de muros de arrimo;
- 6) Realização de chumbamentos;
- 7) Revestimento com gramação, concreto projetado, solo-cimento ou imprimação asfáltica;
- 8) Obstrução de fissuras com cimento ou betume;
- 9) Injeções de cimento, solução de silicato de sódio, cal ou resinas para consolidação.

3.2.2 Caracterização de Voçorocas

Voçorocas são objetos de estudo antigos e, devido a isso, foram classificadas de diversas maneiras ao longo dos anos, segundo várias metodologias desenvolvidas por diversos autores.

Oliveira (1999) classifica voçorocas em três tipos: conectadas, desconectadas e integradas. O primeiro tipo diz respeito a erosões que ocorrem nas partes baixas das encostas e estão conectadas as redes de drenagem naturais ou aos canais fluviais de rios. O segundo tipo diz respeito a erosões que ocorrem nas partes altas das encostas, não estando conectadas as redes de drenagem naturais ou aos canais fluviais de rios. O terceiro tipo corresponde à integração dos dois primeiros, ou seja, a junção de voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas.

Já Vieira (2008), em estudo de processos erosivos em Manaus, desenvolveu classificações para voçorocas utilizando como base, as classificações desenvolvidas por Bigarella e Mazuchowski (1985), justificando o fato de que cada forma é resultante dos processos específicos e das condições ambientais características do local onde as voçorocas ocorrem. Desse

modo, classificou as voçorocas em Manaus como sendo de cinco tipos: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular.

Outra classificação importante é dada por Vieira e Albuquerque (2004), que classificam voçorocas em relação ao tamanho, de acordo com o volume de solo erodido. Os tamanhos podem variar de muito pequenas a muito grande, indo de 999 m³ de solo erodido até volumes superiores a 40000 m³.

3.2.3 Técnicas de Bioengenharia com Potencial de Aplicação no Solo

Segundo Lewis (2000), bioengenharia de solos consiste no uso de plantas vivas e técnicas flexíveis da Engenharia para combater problemas ambientais como a erosão do solo e instabilidade de taludes.

Os usos de técnicas de bioengenharia de solos configuram-se como práticas adequadas para a recuperação de áreas degradadas por processos erosivos. Segundo Neri e Sánchez (2012), diversas soluções de bioengenharia tem-se apresentado positivamente, difundindo a prática, que podem ser aplicadas e adaptadas as mais diversas situações.

As técnicas de bioengenharia são amplamente difundidas na Europa e são reconhecidas como importantes ferramentas para a estabilização e recomposição de ambientes em muitos contextos de degradação, contribuindo para ganhos geológicos, estéticos e econômicos. Entretanto, devem ser corretamente empregadas (EUBANKS; MEADOWS, 2002).

Podem ser aplicadas para a proteção, restauração, controle e estabilização de diversos processos de degradação, desde problemas envolvendo estabilização de taludes, aterros sanitários e margens de rios. Entretanto, em certas ocasiões, são necessários auxílios da engenharia convencional, que muitas vezes pode ser empregada de forma conjugada com as técnicas de bioengenharia de solos. Em obras de bioengenharia devem ser consideradas a utilização de tecnologias, uma vez que, apesar de serem obras de simplicidade conhecidas, prioritariamente devem ser obras de engenharia, havendo de respeitar os conceitos da engenharia convencional e outros fatores condicionados a execução de obras, como por exemplo, clima, geologia, solo, hidrografia e vegetação (SOLERA, 2018).

Souza et al. (2014), ao discutir a aplicabilidade de técnicas de bioengenharia de solos na recuperação de áreas degradadas, com intuito de atenuar ou incrementar os efeitos de processos naturais, em diversas áreas do Brasil, constatou que as obras de bioengenharia, executadas em

situações diversas de degradação, em diferentes regiões do país, demonstram potencial elevado de aplicabilidade na maior parte dos contextos de degradação. A coleta de dados primários ocorreu em quatro estados do país, sendo eles: São Paulo, Goiás, Minas Gerais e Paraíba. Ao todo, foram seis áreas visitadas, sendo três parques urbanos, uma rodovia, uma usina hidroelétrica e uma área de mineração. Nestas áreas, foram identificados nove locais, onde foram aplicadas técnicas para a recuperação ambiental, sobretudo, voltadas para a bioengenharia. Estes locais correspondiam a taludes fluviais, taludes construídos, cavas de mineração em fase de desativação e a margens de reservatório.

Em Belo Horizonte, na Avenida Nossa Senhora do Carmo, próximo ao shopping Ponteio, um talude (Figura 3) foi trabalhado com uso de técnicas de bioengenharia, mais precisamente, técnicas de solo grampeado e sementes para a revegetação da superfície do talude, com a finalidade de prevenir falhas induzidas pela chuva. As obras visaram também, manter um aspecto natural ao talude (GALVÃO et al., 2010).

Figura 3: Talude trabalhado com obras de bioengenharia em Belo Horizonte.



Fonte: (Galvão et al. 2010)

Podem-se destacar, também, obras de bioengenharia desenvolvidos nos taludes marginais do Baixo São Francisco, no estado Sergipe (Figura 4). Com a finalidade de estabilizar os processos erosivos das margens e promover a recuperação da vegetação ciliar, foram empregados associações de tecidos vegetais e gramíneas, capazes de reter sedimentos (GOMES, 2005; HOLANDA; ROCHA; OLIVEIRA, 2008).

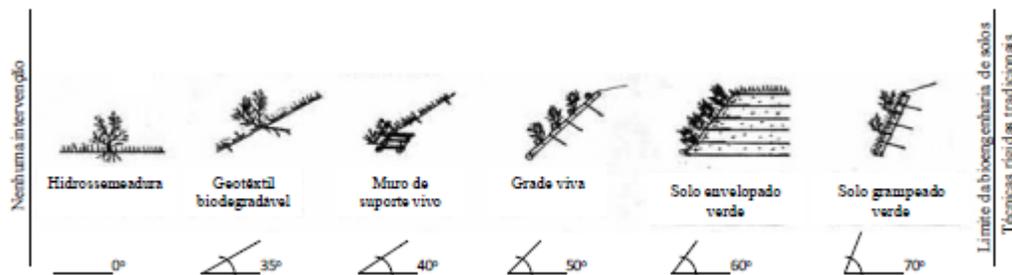
Figura 4: Taludes em recuperação no Baixo São Francisco (SE).



Fonte: (Gomes, 2005)

Existe uma série de técnicas de bioengenharia de solos, que podem ser aplicados em contextos diferentes de degradação ambiental (Figura 5), como: pacotes de ramos (branchpacking), camadas de ramos (brushlayering), feixes vivos (live fascines), estacas vivas (live staking), geogrelha vegetada (vegetated geogrids), contenção tipo cribwall (live cribwal), grade viva (live slope grating), dentre outras (GRAY; SOTIR, 1996; EUBANKS et al, 2002; DURLO; SUTILI, 2005).

Figura 5: Diferentes técnicas de bioengenharia.



Fonte: (SAULI et al. 2005)

3.3 Monitoramento Ambiental

Monitoramento ambiental é definido como a medição contínua ou sazonal em um determinado ambiente, de modo que haja representatividade temporal para a realização de

comparações futuras, bem como a representatividade do uso e ocupação do solo, da qualidade da água e do desenvolvimento da cobertura vegetal, em um contexto de gestão ambiental, como por exemplo, no que tange a tomada de decisão, licenciamentos e suporte à fiscalização (BRAGA, 2009).

É uma prática de coleta de dados, estudo e acompanhamento das variáveis ambientais, com finalidade de avaliação e identificação quantitativa e qualitativa. Pode fornecer informações no que tange as condições dos recursos naturais ao longo do tempo, de forma a apresentar a o estado de conservação, preservação e recuperação ambiental em destes locais. Através dos avanços tecnológicos voltados para a área de monitoramento ambiental tem ganhado espaço ramos de atividade que geram impactos ambientais (EMBRAPA, 2007).

O monitoramento ambiental deve apresentar comparação de um ponto no tempo com dados recolhidos ao logo de um período, posteriormente a ocorrência de um determinado evento. Na maioria das vezes, o monitoramento ambiental é feito após um problema ter sido identificado (PAINE, 2003).

As etapas do monitoramento ambiental, segundo Braga (2009), são:

- 1) Discussão Prévia;
- 2) Coleta de Dados;
- 3) Análises Laboratoriais;
- 4) Manejo de Dados;
- 5) Análise de Dados;
- 6) Relatório;
- 7) Utilização das Informações;
- 8) Apresentação dos Resultados.

3.3.1 Fotogrametria no Monitoramento Ambiental

A palavra fotogrametria é de origem grega e derivada de três léxicos: *photos* (luz), *gramma* (descrever) e *metron* (medir). O estudo da fotogrametria surgiu na França, em meados de 1840 e o primeiro manual de Fotogrametria teve publicação na Alemanha, em 1889 (TAVARES; FAGUNDES, 1989).

Segundo a American Society of Photogrammetry (ASP), fotogrametria corresponde à arte e tecnologia de se obter informações confiáveis em relação a objetos e ao meio ambiente, fazendo uso de processos de registro, medições e interpretações de imagens fotográficas (ASP, 1966).

A fotogrametria possui vantagens como a velocidade de aquisição de dados, adequação da precisão do aerolevanteamento a necessidade do projeto, e descrição de qualquer superfície com facilidade. Também possibilita grande quantidade de armazenamento de informações e dados correspondentes a um local (RODRIGUES, 2016).

Para Temba (2000), a fotogrametria pode ser dividida em duas grandes áreas: a Fotogrametria Interpretativa e a Fotogrametria Métrica. A primeira busca reconhecer, identificar e realizar julgamentos a respeito dos significados de um determinado objeto, a partir de análises sistemáticas de fotografias. A segunda consiste nas realizações de medições de fotografias e outras fontes de informação, com objetivo de determinar o posicionamento relativo de pontos.

Em processos envolvendo aerofotogrametria, as fotografias aéreas geralmente são obtidas em forma sequencial. Para que toda a região de interesse seja imageada, as fotografias são tiradas com superposição longitudinal (Figura 6) e lateral de imagem. A superposição de fotos de forma longitudinal, corresponde ao percentual que uma determinada fotografia é superposta em relação a outra fotografia tirada consecutivamente em uma mesma faixa de voo. As imagens tiradas com superposição longitudinal são chamadas de Imagem Estereoscópica. O recobrimento Longitudinal é calibrado para prover aproximadamente 60% de superposição entre as fotografias, o que permite obtenção da estereoscopia, ou seja, de uma imagem em três dimensões (3D). O Recobrimento Lateral apresenta superposição entre faixas de voo com variação entre 20% e 40% (SPOHR, 2009).

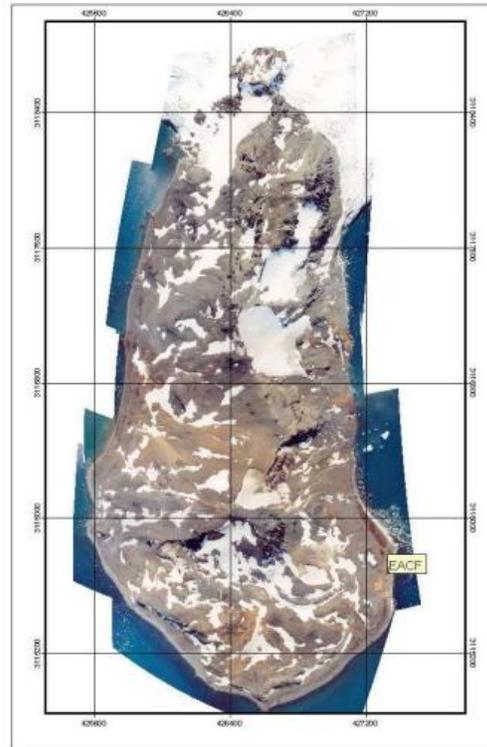
Figura 6: Superposição longitudinal de imagem obtida por aerofotogrametria.



Fonte: (SPOHR, 2009)

Francelino et al. (2003), em trabalho desenvolvido na Antártica marítima, mais especificamente na Península Keller na Ilha Rei George, obteve fotografias aéreas de baixo custo, através de suporte desenvolvido especificamente para adaptar um sistema fotográfico em helicóptero. As fotografias apresentaram alta qualidade visual e foi possível confeccionar um mosaico (Figura 7) semicontrolado, que serviu de base no mapeamento temático das unidades geoambientais presente em na Península Keller. Os autores concluíram que a qualidade das imagens foi suficiente para identificar facilmente diversas unidades ambientais, através de técnicas de fotogrametria, permitindo a confecção de mapas temáticos na escala de 1:5.000.

Figura 7: Mosaico semicontrolado da Península Keller.



Fonte: Francelino et al. (2003)

3.3.1.1 Fotointerpretação

Para Anderson (1982), uma definição básica para fotointerpretação está presente no *Manual of Photographic Interpretation* da Sociedade Americana de Fotogrametria. Segundo o manual, fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas para fins de identificação de objetos e determinar seus significados. Entretanto, Anderson afirma que esta definição é um tanto quanto simplista, pois existem diferentes tipos de imagens e diversos tipos de objetos. Além disso, esta definição não se refere às várias técnicas existentes em relação à fotointerpretação.

Para Quackenbush (1960), a fotointerpretação é o ato de examinar imagens fotográficas com o fim de identificar objetos e determinar seus significados. Disperati (2007) entende que esta definição, apesar de ser aceita no meio especializado, também é simplista, uma vez que não inclui aspectos importantes que ocorrem no processo de fotointerpretação. Porém, reconhece que a definição apresentada por Quackenbush é valiosa por indicar que no final do processo de fotointerpretação são atribuídos nomes específicos aos objetos considerados.

Uma conceituação mais adequada para fotointerpretação seria ‘a interferência de informação a partir de dados obtidos através da observação de um meio fotográfico, com ou sem a ajuda de equipamento’ (TENG, 1997).

Segundo Temba (2000), inúmeras técnicas de fotointerpretação podem ser aplicadas para obter informações a partir de fotografias, podendo variar de técnicas simples a complexas. Alguns exemplos destas técnicas são:

- 1) Foto Leitura: Consiste no reconhecimento direto de objetos pelo homem e de características comuns do terreno. Refere-se a visão vertical de construções, obras de engenharia, lavouras, rios, florestas e terrenos no geral. Compreende-se a técnica de interpretação mais simples
- 2) Foto-análise: Consiste na técnica de examinar objetos através da separação de suas partes e componentes. Quando aplicada ao terreno, o objetivo principal está voltado para a identificação estereoscopicamente das várias unidades deste terreno, delineando as áreas homogêneas que indicam diferenças nas condições do solo.
- 3) Foto-dedução: Compreende-se a técnica interpretativa mais complexa. Inclui todas as características da foto-leitura somada a uma avaliação da estrutura geomorfológica da área em questão, os processos responsáveis pela sua formação e o estágio de seu desenvolvimento. Também inclui exames detalhados de todos os outros elementos da foto aérea.

Para Temba (2000), todos os métodos supracitados consistem em fotointerpretação, embora sejam técnicas independentes e aplicadas em graus crescentes de complexidade.

3.3.1.2 Modelos Digital de Superfície

Observa-se, nos últimos anos, significativo aumento no que tange o desenvolvimento de sensores de mapeamento para levantamentos aéreos, com a finalidade de obtenção de dados tridimensionais (CRUZ et al., 2012).

Modelos Digitais de Superfície (MDS) são um dos principais pontos de interesse no que diz respeito a aerolevantamentos com uso de VANT (CANDIDO et al., 2014).

Li, Zhu e Gold (2005) assumem MDS como sendo modelos que consideram as elevações do terreno e qualquer objeto acima dele, como por exemplo, edificações e cobertura vegetal.

Segundo Santos et al (2016), existem diversos sistemas de MDS disponíveis, que proporcionam uma pluralidade de aplicações em âmbito global e regional, a saber:

- 1) SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission): Missão durante o mês de fevereiro de 2000 com objetivo de aquisição de MDE entre as latitudes 60°N a 56°S para cobrir 80% da superfície continental do globo terrestre. Foi realizada em conjunto pela agência espacial norte-americana (NASA) e o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América. Foram representados pela National Geospatial-Intelligence Agency (NGA), a Agência Espacial Alemã (DLR) e Agência Espacial Italiana (ASI).

- 2) ASTER GDEM (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer - Global Digital Elevation Model): Parceria entre os anos de 2000 e 2010 abrangendo o Ministério de Economia, Indústria e Comércio do Japão (METI) e a Agência Espacial NorteAmericana (NASA) com objetivo de gerar MDS abrangendo 99% da área continental do planeta, entre as latitude 83°N a 83°S, fazendo uso de imagens estereoscópicas obtidas pelo sensor ASTER, presente no satélite TERRA.

- 3) TOPODATA: Derivação do modelo SRTM.

Entretanto, MDSs gerados por VANTs apresentam algumas vantagens em relação àqueles disponíveis. Como exemplo, podemos citar a resolução espacial, muito mais elevada quando há o uso de VANTs, o que possibilita visualização mais detalhada e extração mais acurada de informações (ISIOYE; JOBIN, 2012).

Outro ponto importante que deve ser destacado é a resolução temporal das aeronaves. O uso de VANTs para geração de MDS possibilita a escolha do período de repetição do aerolevante, facilitando o acompanhamento dos alvos ao longo do tempo (FIGUEIRA; OLIVEIRA, 2013).

3.4 Veículos Aéreos não Tripulados

3.4.1 Conceito

No Brasil, as aeronaves não tripuladas ainda são popularmente conhecidas como *Drones*, palavra que se origina do termo inglês, correspondente a *Zangão*. O termo Drone é amplamente utilizado pelos órgãos de imprensa. Os drones também são conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT), nomenclatura originada do termo *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), considerado obsoleto na comunidade aeronáutica internacional. Também pode ser conhecido como Aeronave Remotamente Pilotada (ARP). Entretanto, o termo técnico adotado pela Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), com abrangência internacional, corresponde a *Remotely Piloted Aircraft System* ou RPAS (ICA 100-40, 2016).

Segundo a Anac (2012), Veículo Aéreo Não Tripulado ou VANT, é definido como um veículo aéreo projetado para operar remotamente, ou seja, sem piloto a bordo, possuindo uma carga útil embarcada e que não seja utilizado para fins recreativos. A Agência diferencia VANT de Aeromodelo por meio da finalidade de utilização da tecnologia, sendo que o aeromodelo é constituído de toda aeronave não tripulada com finalidade de recreação. Já o VANT, constitui-se de toda aeronave não tripulada pilotada a partir de uma com finalidade diversa de recreação. É também reconhecido como *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) ou *Unmanned Aircraft System* (UAS).

3.4.2 Classificação

Um VANT possui sistemas semelhantes ao de uma aeronave tripulada, sendo diferenciando, entretanto, pela inteligência eletrônica e estação de pilotagem remota. Fazem parte da composição de um VANT a aeronave, a estação de controle remota ou autônoma, as cargas, os sistemas de posicionamento, o sistema inercial, o sistema de lançamento, o sistema de recuperação e o sistema de comunicação (FARIA; COSTA, 2015).

Os VANT's são classificados em três classes, de acordo com o Peso Máximo de Decolagem (PMD). Aeronaves que apresentam peso máximo de decolagem superiores a 150 kg, são enquadrados na Classe 1. Aquelas que apresentam peso máximo de decolagem correspondentes ao intervalo de 25 kg a 150 kg, são enquadrados na Classe 2. E por fim, as aeronaves que apresentam peso máximo de decolagem inferiores ou equivalentes a 25 kg, são enquadrados na Classe 3 (ANAC, 2012).

3.4.3 Legislação

No Brasil, a legislação que rege o uso e operação de VANT ainda é pouco desenvolvida. A norma regulamentadora das operações de aeronaves não tripuladas em vigor no Brasil, atualmente, corresponde ao Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial Nº 94/2017 (RBAC-E Nº 94/2017). Este regulamento é complementar às normas de operação de VANT, estabelecidas pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), cuja competência é legislar acerca dos procedimentos para o acesso ao Espaço Aéreo. O RBAC-E nº 94/2017 também complementa as normas da Agencia Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

O ICA 100-040/2016, que trata dos ‘‘Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro’’, em conformidade com a Portaria DECEA Nº 282/DGCEA, de 22 de Dezembro de 2016, tem por finalidade regular os procedimentos e responsabilidades necessárias para o acesso seguro ao Espaço Aéreo Brasileiro por Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) (ICA 100-40, 2016).

O RBAC-E nº 94/2017, em complemento ao ICA 100-040/2016, referente ao uso e operação de drones, entrou em vigor em 3 de maio de 2017. Esta norma estabelece as condições para a operação de aeronaves não tripuladas no Brasil, considerando o atual estágio do desenvolvimento desta tecnologia. A norma objetiva promover o desenvolvimento sustentável e seguro para o setor de veículos aéreos não tripulados, bem como apresentar as restrições operacionais desta tecnologia (REQUISITOS GERAIS PARA AERONAVES NÃO TRIPULADAS DE USO CIVIL, 2017).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Caracterização da Área de Estudo

Para a realização deste estudo, buscou-se estudar uma voçoroca presente em um contexto urbano, próximo a cidade de Belo Horizonte.

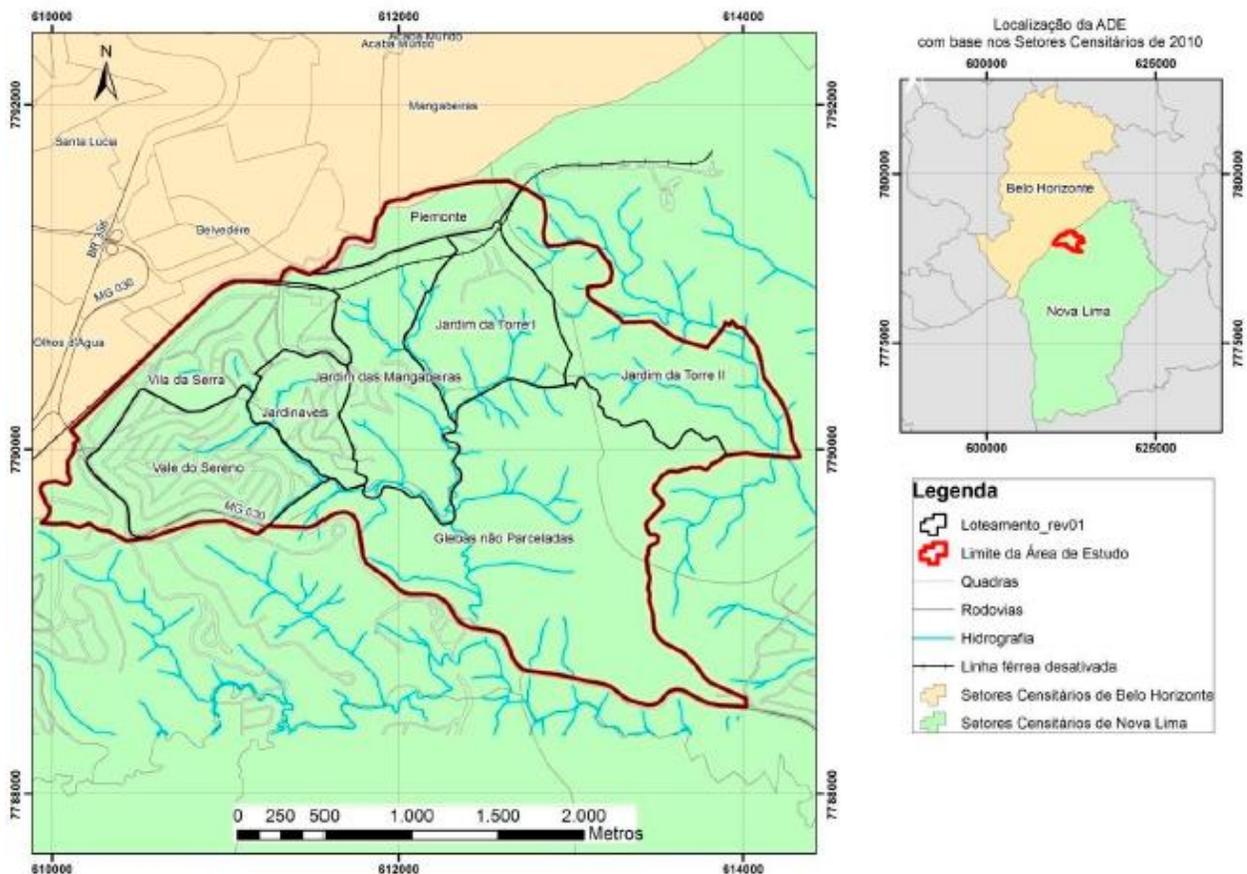
Por meio de uma busca minuciosa na literatura, encontrou-se o trabalho de Vieira e Almeida (2018). Este trabalho teve por objetivo, uma análise geoambiental da expansão urbana do vetor sul de Belo Horizonte sobre Nova Lima, considerando a urbanização da bacia do córrego Estrangulado e as voçorocas que haviam se formado no Bairro Jardim da torre. Assim, o trabalho desenvolvido por estes autores contribuindo expressivamente e pautou os estudos aqui realizados, uma vez que apresentavam o mesmo objeto de estudo.

Num primeiro momento, foi realizado o levantamento detalhado da área de estudo, através de consulta a trabalhos (dados secundários) que tratam de aspectos físicos naturais e de fatores antrópicos (aspectos urbanos) como os de Vieira e Almeida (2018), Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (2014), Projeto APA Sul (2005) e Prefeitura Municipal de Nova Lima (2014). Em um segundo, momento foram coletados os dados em campo, no período de 26 de abril 2019 a 30 de abril de 2019.

4.1.1 Área de Diretrizes Especiais Vila da Serra

O Plano Diretor – Lei Municipal nº 2007 de 28 de agosto de 2007 – foi responsável por criar a Área de Diretrizes Especiais Vila da Serra (ADE Vila da Serra). Esta área está situada na porção norte do município de Nova Lima, em Minas Gerais, ao sopé da Serra do Curral e na divisa com o município de Belo Horizonte. Abriga os bairros Vila da Serra, Vale do Sereno, Jardinaves, Jardim das Mangabeiras, Piemonte e Jardim da Torre (Figura 8).

Figura 8: Localização, loteamento e parcelamento da ADE Vila Da Serra, Nova Lima – MG.



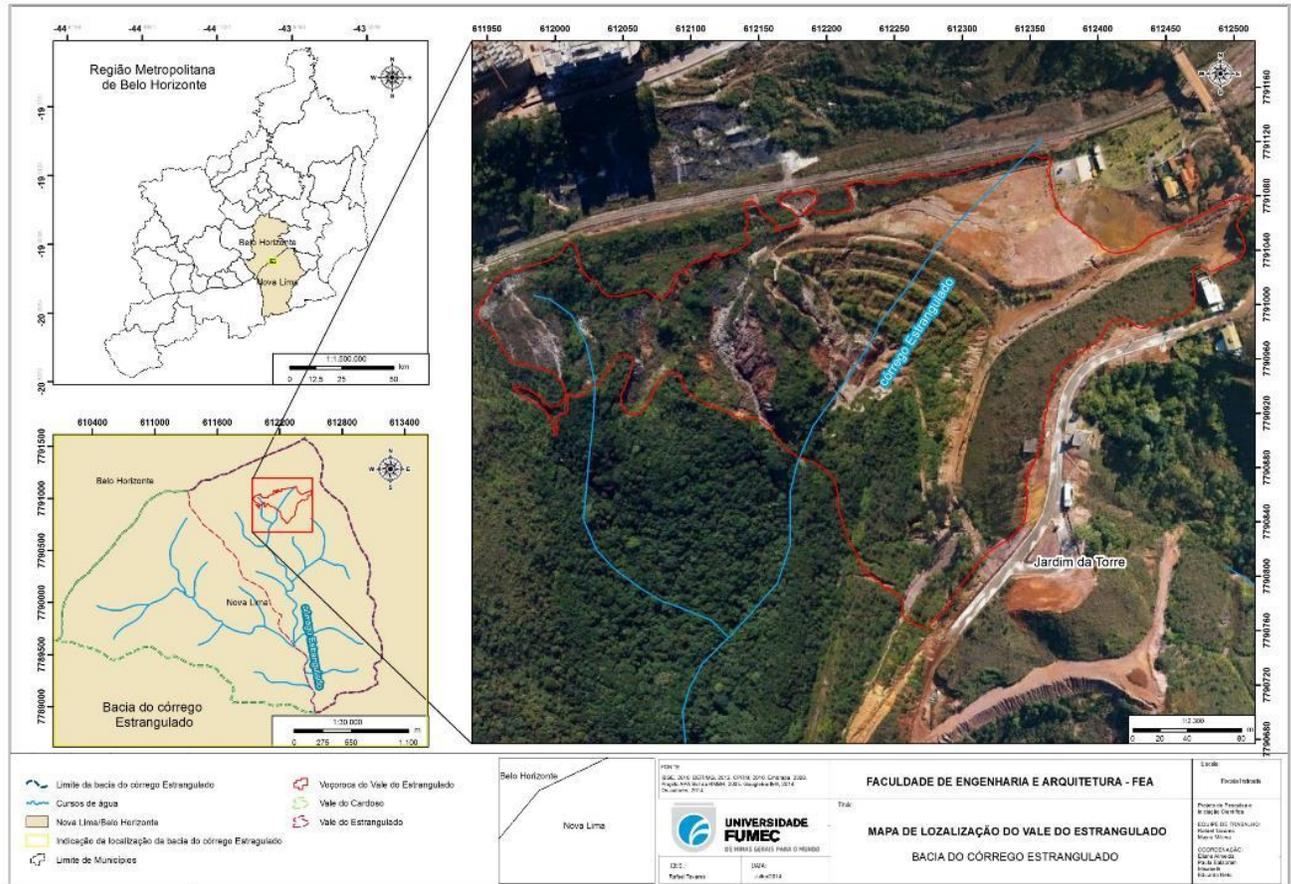
Fonte: (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA LIMA, 2014).

Possui como principais elementos limítrofes a MG-30 de sul a sudoeste; o eixo ferroviário Minerações Brasileiras Reunidas S.A - MBR, a Serra do Curral; e a Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN Mata do Jambreiro. É caracterizada por uma área de conurbação urbana entre Belo Horizonte e Nova Lima, que avança sobre o território novalimense a partir da ocupação do bairro Belvedere (PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA LIMA, 2014).

4.1.2 Área de Estudo

A área de estudo está contida no Bairro Jardim da Torre, localizado na Área de Diretrizes Especiais Vila da Serra. O processo erosivo presente na área de estudo ocupa, em parte, a cabeceira do Córrego do Estrangulado, presente na microbacia do Córrego do Estrangulado e na Bacia do Córrego do Cardoso (Figura 9). A microbacia do Córrego do Estrangulado possui 8,5

Figura 10: Área de estudo contendo processos erosivos a serem estudados.



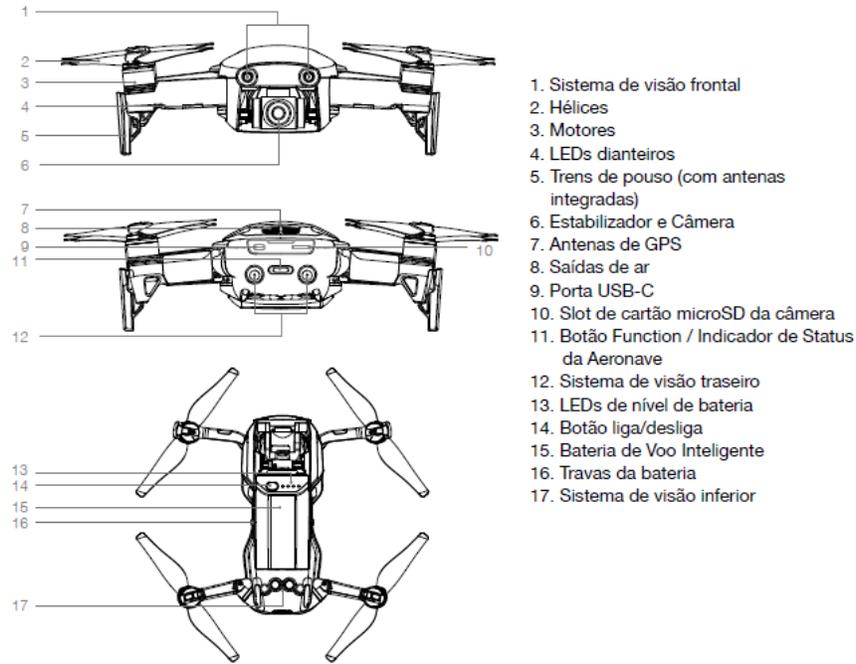
Fonte: (VIEIRA; ALMEIDA, 2018)

4.2 Equipamento

4.2.1 Vant

Para a aquisição das fotografias e posterior confecção de ortomosaico e Modelo Digital de Superfície (MDS), foi utilizado um VANT, modelo DJI Mavic Air (Figura 11).

Figura 11: Diagrama da aeronave, modelo DJI Mavic Air.



Fonte: Manual do Usuário do Mavic Air , V1.2, 2018.

O equipamento enquadra-se na classe 3, que abrange quadricópteros com peso entre 250g e 25Kg (ANAC, 2017). Segundo o manual do fabricante, o quadricóptero de modelo DJI Mavic Air pode chegar a 68,4 Km/h, possui autonomia de voo máxima de 21 minutos, captura imagens de vídeo em 4k e fotografias com 12 megapixels (DJI, 2018). As especificações da câmera podem ser conferidas na Tabela 1.

Tabela 1: Características da Câmera presente na aeronave de modelo DJI Mavic Air.

Câmera	
Sensor	CMOS de 1/2,3"; pixels efetivos: 12 megapixels
Objetiva	FOV 85° 24 mm (equivalente ao formato 35 mm) f/2.8 Alcance da foto: 0,5 m ao infinito
Gama ISO	Vídeo: 100 a 3200 (automático); 100 a 3200 (manual) Foto: 100 a 1600 (automático); 100 a 3200 (manual)
Velocidade do obturador eletrônico	8 a 1/8000 s
Tamanho máximo da imagem	4056×3040

Fonte: Manual do Usuário do Mavic Air, V1.2, 2018.

O modelo em questão, usado neste trabalho, é composto de um controlador de voo, sistema downlink, sistema de propulsão e três baterias de voo inteligente. Está equipado com sistema de visão frontal, inferior e traseiro, bem como módulo de infravermelho 3D, que ajudam a aeronave a pairar com precisão e voar em ambientes com ausência de sinal GPS. O equipamento também utiliza sinal GPS para localizar-se, estabilizar-se e navegar entre obstáculos. Faz uso de sistema Homepoint, que registra as características do terreno no momento da decolagem, de modo que possibilita a aeronave a pousar automaticamente no mesmo ponto ao qual levantou voo, por um botão acionado no controle (DJI, 2018). O Sistema de Visão do VANT DJI Mavic Air está representado na Figura 12.

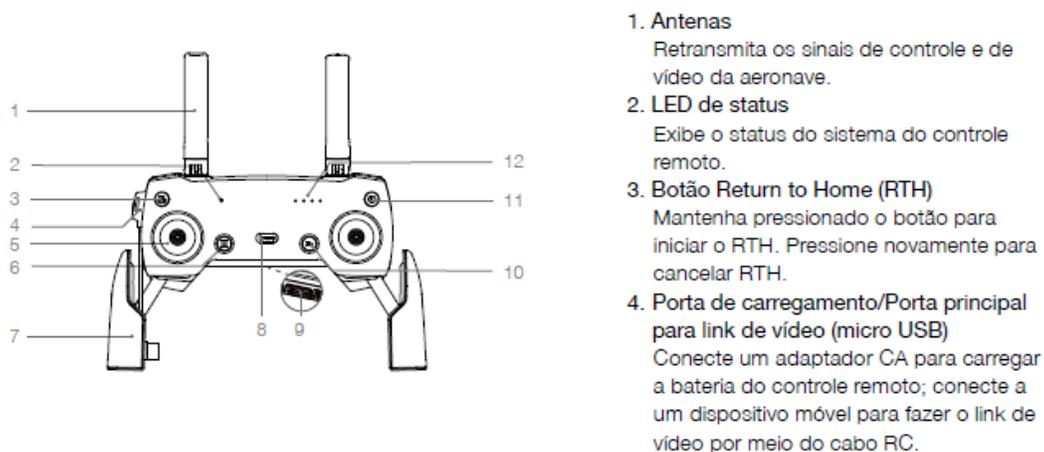
Figura 12: Sistema de Visão da aeronave de modelo DJI Mavic Air.



Fonte: Manual do Usuário do Mavic Air, V1.2, 2018.

O quadricóptero DJI Mavic Air é acionado e conduzido por um controle remoto, que se comunica com o VANT via sinal de Wi-fi. É necessário que o controle remoto esteja ligado a um aparelho celular que possibilite o uso do aplicativo DJI GO e Drone Deploy, que serão as interfaces de comunicação entre o piloto e o quadricóptero. O diagrama do controle do VANT DJI Mavic Air está representado na Figura 13.

Figura 13: Diagrama do Controle da aeronave de modelo DJI Mavic Air.



Fonte: Manual do Usuário do Mavic Air, , V1.2, 2018.

4.2.2 Drone Deploy

O software escolhido para o mapeamento das áreas de estudo, confecção do ortomosaico e criação do MDS foi o Drone Deploy. Este software possui uma versão para desktop e uma versão de aplicativo para smartphones, ambas ligadas uma a outra por um sistema em nuvem.

A versão de aplicativo, Drone Deploy app, é gratuita. Esta versão é utilizada em campo, para o mapeamento de terrenos. Ela funciona como a interface entre o piloto e o drone no momento de execução das missões de voo. Através deste aplicativo, uma conexão é estabelecida com o VANT, assumindo controle parcial do quadricoptero com a finalidade de executar o voo autônomo para mapeamento das áreas de interesse, seguindo os parâmetros previamente estabelecidos. Entretanto, esta versão não permite a plotagem de ortomosaicos, MDS e Modelos digitais de elevação (MDE), nem disponibiliza ferramentas de dimensionamento (distancia, volume e área), sendo necessário, para isso, o uso complementar com a versão para desktop.

Esta versão é paga e os preços variam de acordo com os pacotes oferecidos. A empresa Drone Deploy, entretanto, disponibiliza uma versão de teste do pacote básico disponível para a venda, de modo que o usuário tem o acesso a todas as ferramentas deste pacote por quatorze dias, sendo necessária a assinatura do pacote no final do prazo estabelecido, para continuar tendo acesso às funções do software. Para a realização deste trabalho, esta foi a versão utilizada.

4.3 Planejamento e Execução de Voo

A parte experimental deste trabalho foi realizada em três etapas:

- 1) Visita prévia a área de estudo;
- 2) Confecção dos planos de voo em software;
- 3) Execução dos planos de voo na área de estudo.

Assim, no dia 11 de abril de 2019, deu-se início e conclusão a primeira etapa, onde foi realizada uma visita prévia a área de estudo para reconhecimento do local, identificação das principais vias de acesso e localização das voçorocas através do terreno e observação de possíveis obstáculos para o mapeamento com drone.

No dia 25 de abril de 2019, as missões de voo foram planejadas e confeccionadas em software, concluindo a segunda etapa da parte experimental. As missões de voo foram planejadas e confeccionadas com base nas observações realizadas previamente, no dia 11 de abril de 2019.

Para a confecção das missões de voo, utilizou-se o software Drone Deploy, em sua versão para desktop. Foram traçados três planos de voo, denominados Vale do Estrangulado 01, Vale do Estrangulado 02 e Vale do Estrangulado 03 (Figura 14).

Figura 14: Planos de voo no Software Drone Deploy.



Fonte: o Autor.

Foram estabelecidos objetivos e parâmetros a serem atribuídos especificamente a cada plano de voo, de acordo com a finalidade dos mesmos. Foram utilizados 70% de sobreposição frontal e lateral para a captura das ortofotos, conforme recomenda o guia completo do Drone Deploy, disponibilizado pela Bembras Agro, revendedora oficial do Drone Deploy no Brasil (BEMBRAS, 2019). Além disso, foi utilizada a velocidade de 15m/s para os três planos de voo, medida recomendada pelo software Drone Deploy para mapeamentos de terrenos (DRONE DEPLOY, 2019).

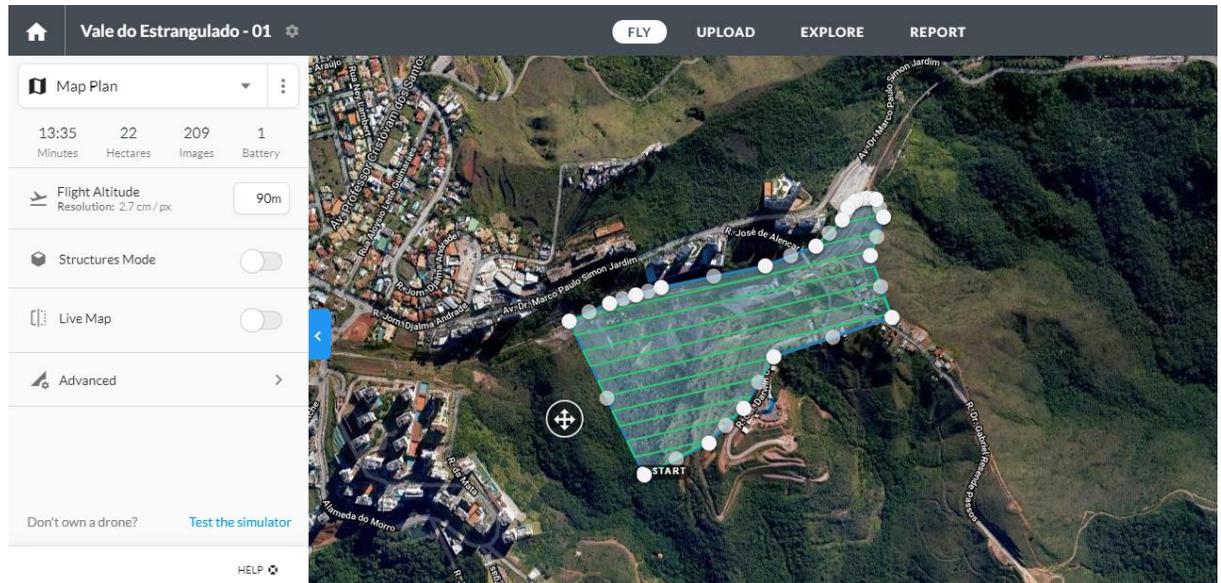
No dia 26 de abril de 2019, dia seguinte ao planejamento e confecção dos planos de voo em software, realizou-se o retorno à área de estudo para a captura das imagens com o VANT e coleta de dados para a caracterização do local, dando início a terceira etapa da parte experimental. Neste dia, realizaram-se os planos de voo Vale do Estrangulado 02 e Vale do Estrangulado 03, ficando o plano de voo Vale do Estrangulado 01, pendente.

No dia 30 de abril de 2019, realizou-se novo retorno ao local estudado para execução do plano de voo Vale do Estrangulado 01, concluindo a terceira etapa da parte experimental. A princípio, este plano de voo começou a ser executado no dia 26 de abril de 2019, juntamente com as demais missões. Porém, devido a grande altitude e a maior área a ser imageada com o drone nesta missão, constatou-se uma falha na conexão wi-fi entre o controle remoto e o drone, gerando uma consequente perda de sinal, quando o VANT já estava no ar, dando início a captura das imagens. Com a perda de sinal, o drone retornou automaticamente ao local de decolagem utilizando o sistema de Home Point e Return to Home. Com isso, parte da carga desta bateria foi gasta dando início à missão, o que impediu nova tentativa, uma vez que a quantidade restante de carga não seria suficiente para concluir este plano de voo. Assim, optou-se por um novo retorno a área de estudo para dar continuidade à missão Vale do Estrangulado 01, o que ocorreu no dia 30 de abril de 2019, onde o plano de voo foi executado com sucesso.

4.3.1 Missão Vale do Estrangulado 01

Para a missão Vale do Estrangulado 01, optou-se por mapear uma área de maior extensão, que abrangesse não só a voçoroca, mas, também, a área de entorno. Assim, foi possível estudar, de forma atual, como o ambiente contribui para o desenvolvimento dos processos erosivos presentes na área de estudo e como este ambiente é afetado pelo escoamento superficial das águas das chuvas. A missão vale do Estrangulado 01 está representada na Figura 15.

Figura 15: Plano de voo Vale do Estrangulado 01.



Fonte: O Autor.

Em seguida, estabeleceram-se os parâmetros de voo para a missão, conforme Tabela 2.

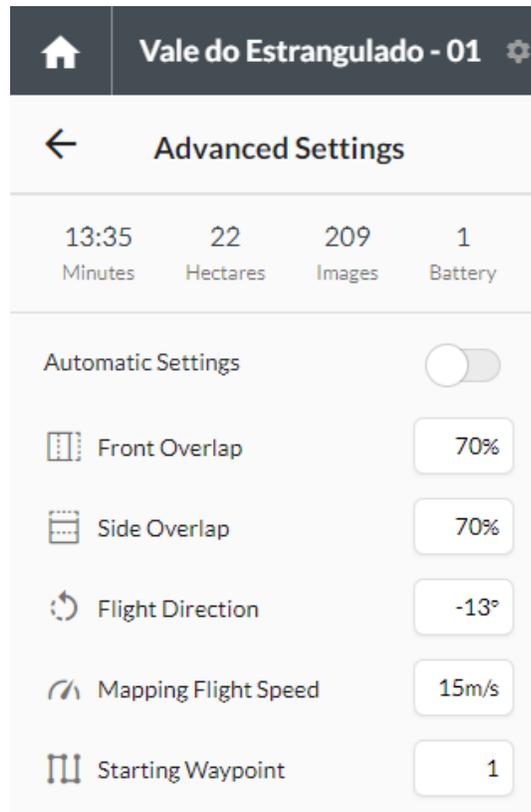
Tabela 2: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 01.

Parâmetros	Valores
Altitude de voo	90 metros
Velocidade de voo	15 m/s
Direção de voo	-13°
Sobreposição Frontal	70%
Sobreposição Lateral	70%

Fonte: o Autor

O plano de voo teve previu uma duração de voo de 13:35 minutos, a cobertura de uma área de 22 hectares, e captura 209 imagens, com o uso de uma bateria, conforme Figura 16.

Figura 16: Interface Drone Deploy com os parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 01.



Fonte: O Autor.

Para essa missão, foi estabelecida uma altitude de voo de noventa metros. Esta altitude foi escolhida levando-se em conta alguns aspectos importantes, como os objetivos da missão, a autonomia de voo da bateria e a resolução espacial das imagens.

Para a confecção de um ortomosaico e MDS que abrangessem a voçoroca e a área de entorno, foi necessário cobrir uma área de vinte e um hectares. Para que isso fosse possível, foi necessária a captação de imagens em grande altitude, uma vez que isso possibilita um imageamento com maior amplitude em relação ao terreno. Desse modo, cada fotografia consegue abranger uma área maior.

Optou-se por uma altitude inferior a cento e vinte metros, de forma a respeitar a legislação vigente e que, ao mesmo tempo, não comprometesse a resolução espacial da imagem, para uma maior qualidade das análises através do ortomosaico e MDS gerado.

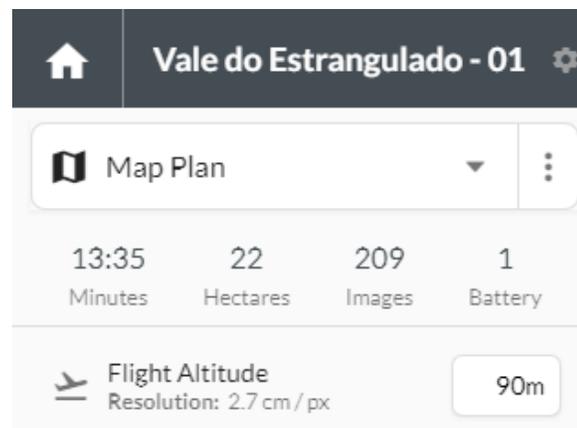
Além disso, a autonomia de voo da bateria do VANT utilizado é, segundo o fabricante, de vinte e um minutos. Constata-se, porém, que essa autonomia na prática é inferior, atingindo, em

média, apenas dezesseis minutos de voo. Isso ocorre, pois o fabricante leva em conta apenas voos na ausência de ventos, que são responsáveis por atribuir um maior esforço energético aos motores. Assim, a fim de compensar o efeito dos ventos e manter o veículo aéreo estável no ar, os motores realizam um maior esforço energético. Isso faz com que a bateria seja consumida mais rapidamente. Dessa forma, para preservar o equipamento e assegurar o sucesso da missão, optou-se por um tempo total máximo de mapeamento de 14 minutos.

Por último, escolheu-se a direção de voo correspondente a -13° , pois apresentou menor impacto no tempo de voo.

Assim, levando em conta todos os aspectos citados, optou-se pela atitude de noventa metros, pois se configurou como uma altitude consideravelmente elevada, que permitiria o mapeamento dos 22 hectares em um tempo inferior a quatorze minutos, além de não comprometer drasticamente a resolução espacial das imagens. Todos os dados citados acima podem ser conferidos na Figura 17.

Figura 17: Altitude de voo e resolução espacial da missão Vale do Estrangulado 01.

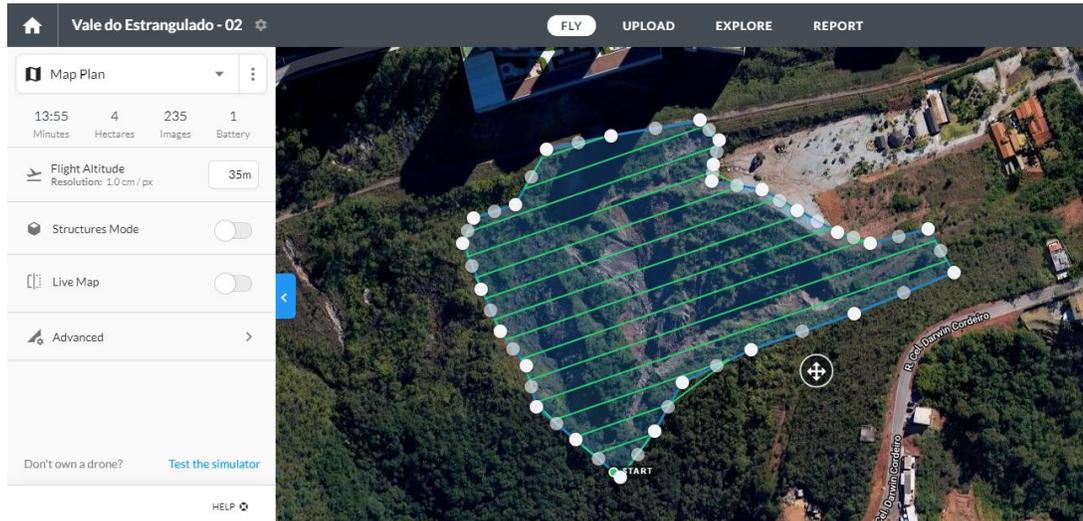


Fonte: O Autor.

4.3.2 Missão Vale do Estrangulado 02

Para a missão Vale do Estrangulado 02, optou-se por mapear uma área de menor extensão, que abrangesse somente a voçoroca, permitindo, assim, um voo mais próximo do solo, conferindo uma maior resolução espacial para o ortomosaico e MDS. Assim, seria possível obter com maior precisão, as dimensões reais da voçoroca para o caçulo do volume de solo perdido no processo de erosão. A missão Vale do Estrangulado 02 está representada na Figura 18.

Figura 18: Plano de voo Vale do Estrangulado 02.



Fonte: O Autor.

Em seguida, estabeleceram-se os parâmetros de voo para a missão, presente na Tabela 3.

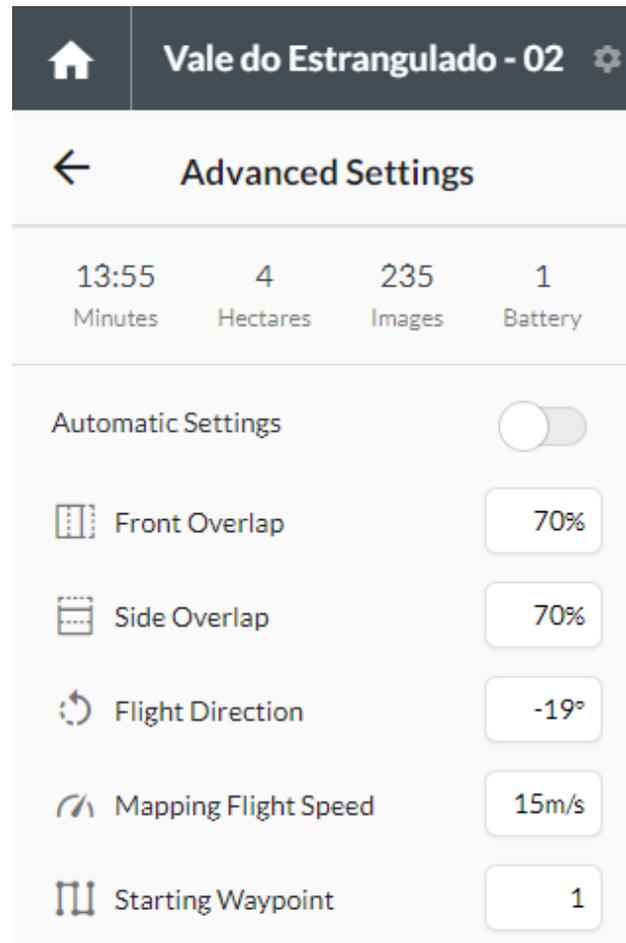
Tabela 3: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 02.

Parâmetros	Valores
Altitude de voo	35 metros
Velocidade de voo	15 m/s
Direção de voo	-19°
Sobreposição Frontal	70%
Sobreposição Lateral	70%

Fonte: o Autor

O plano de voo previu uma duração de voo de 13:55 minutos, a cobertura de uma área de 4 hectares, a captura de 235 imagens e com o uso de uma bateria, como apresentado na Figura 19.

Figura 19: Interface Drone Deploy com os parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 02.



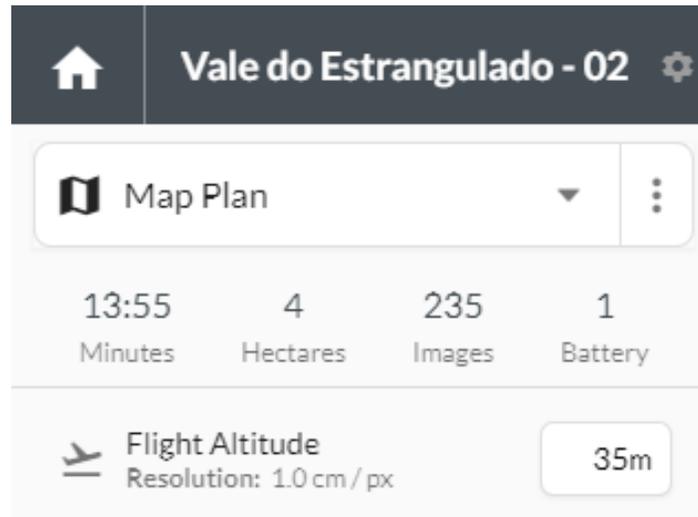
Fonte: O Autor.

Para essa missão, foi estabelecida uma altitude de voo de trinta e cinco metros. Esta altitude foi escolhida levando em conta alguns aspectos, como o objetivo da missão, a autonomia de voo da bateria e a resolução espacial das imagens.

Quanto mais próximo do solo ocorrer o mapeamento, melhor será a qualidade e detalhamento do ortomosaico e MDS gerados. Desse modo, buscou-se realizar o mapeamento na altitude mais baixa possível, de modo que se conseguisse mapear toda a área delimitada em um tempo inferior a quatorze minutos e ainda se conseguisse obter uma resolução espacial máxima de um centímetro por pixel.

Escolheu-se a direção de voo correspondente a menos -19°, pois apresentou o menor impacto no tempo de voo. Todos os dados citados acima podem ser conferidos na Figura 20

Figura 20: Altitude de voo e resolução espacial da missão Vale do Estrangulado 02.

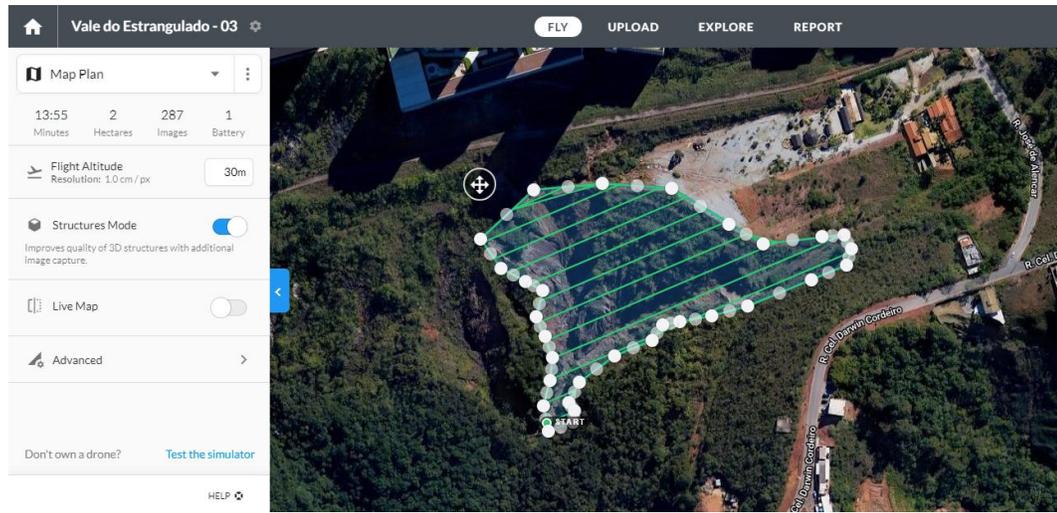


Fonte: O Autor.

4.3.3 Missão Vale do Estrangulado 03

Para a missão Vale do Estrangulado 03, optou-se por mapear somente a área em que o processo erosivo presente na voçoroca apresenta maior nível de detalhamento e informações. Desta vez, porém, utilizou-se uma altitude ainda menor que a utilizada na missão Vale do Estrangulado 02. Além disso, foi acionado um mecanismo do software que melhora o mapeamento de estruturas 3D. Combinando os dois fatores, é possível garantir melhora fidelidade do ortomosaico e MDS gerados a estrutura original da voçoroca. A missão Vale do Estrangulado 03 está representada na Figura 21.

Figura 21: Plano de voo Vale do Estrangulado 03.



Fonte: O Autor.

Em seguida, estabeleceram-se os parâmetros de voo para a missão, presente na Tabela 4.

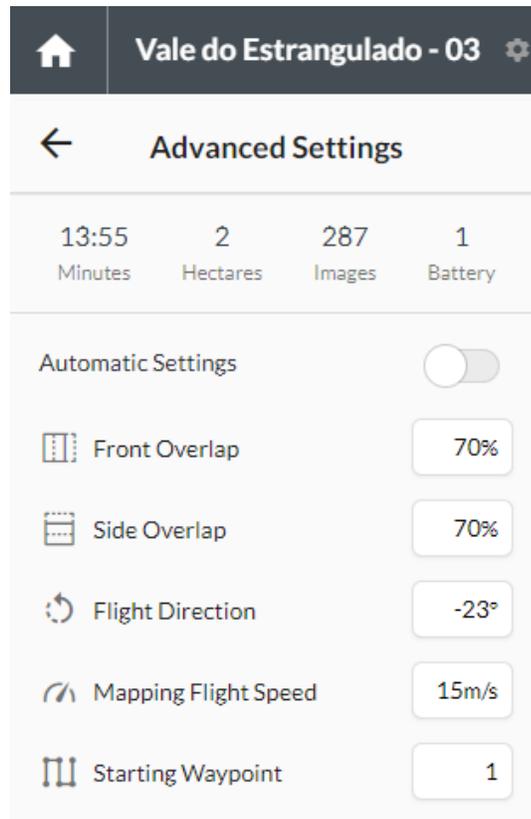
Tabela 4: Parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 03.

Parâmetros	Valores
Altitude de voo	30 metros
Velocidade de voo	15 m/s
Direção de voo	-23°
Sobreposição Frontal	70%
Sobreposição Lateral	70%

Fonte: o Autor

O plano de voo previu a mesma duração do plano de voo anterior, com 13:55 minutos, cobrindo uma área de 2 hectares, realizando 287 imagens e com o uso de uma bateria, como apresentado na Figura 22.

Figura 22: Interface Drone Deploy com os parâmetros de voo para a missão Vale do Estrangulado 03.



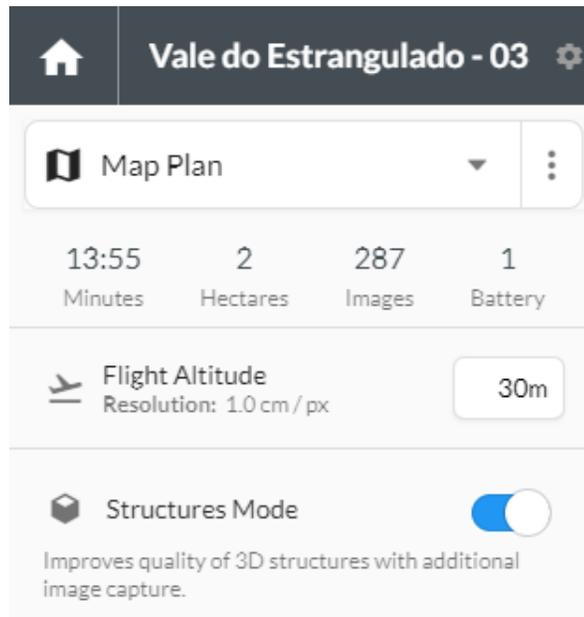
Fonte: O Autor.

Para esta missão, foi estabelecida uma altitude de voo de trinta metros. Esta altitude foi escolhida levando em conta alguns aspectos, como o objetivo da missão, a autonomia de voo da bateria e a resolução espacial das imagens.

Para melhor qualidade e detalhamento do ortomosaico e MDS gerados, buscou-se realizar o mapeamento na altitude mais baixa possível, de modo que se conseguisse mapear toda a área delimitada em um tempo inferior a quatorze minutos e ainda se conseguisse obter uma resolução espacial máxima de 1 centímetro por pixel. Somado a estes fatores, ainda foi acionado o modo Structure Mode, que melhora o resultado de estruturas na confecção do MDS. Este modo aumenta o percurso que o drone deve fazer e conseqüentemente, aumenta-se também o número de imagens capturadas. Por esse motivo, o tempo necessário para cobrir todo o processo erosivo seria maior do que quatorze minutos. Desse modo, optou-se por cobrir a parte mais expressiva da voçoroca, ou seja, uma área um pouco menor que a anterior.

Escolheu-se a direção de voo correspondente a -23° , pois apresentou o menor impacto no tempo de voo. Todos os dados citados acima podem ser conferidos na Figura 23.

Figura 23: Altitude de voo, resolução espacial e Structure Mode acionado na missão Vale do Estrangulado 03.



Fonte: O Autor.

Todos os planos de voo foram executados através de VANT DJI Mavic Air (Figura 24). Também foi utilizado um dispositivo IOS iPhone 6 conectado a um controle remoto DJI. No dispositivo IOS, estavam instalados os aplicativos DJI Go e DroneDeploy, que serviram de interface entre o VANT e o piloto, para execução dos planos de voo.

Figura 24: VANT modelo DJI Mavic Air em operação para mapeamento da área de estudo e estação de comando conectada ao dispositivo IOS.



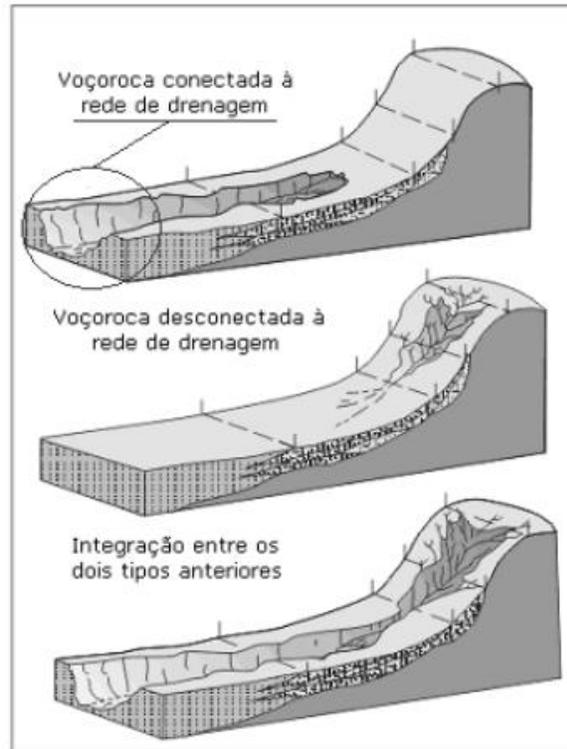
Fonte: o Autor

4.4 Classificação das Voçorocas por Tipo, Forma e Tamanho

Para caracterizar as voçorocas quanto ao tipo, forma e tamanho, utilizaram-se as metodologias de Oliveira (1999), Vieira (2008) e Vieira e Albuquerque (2004).

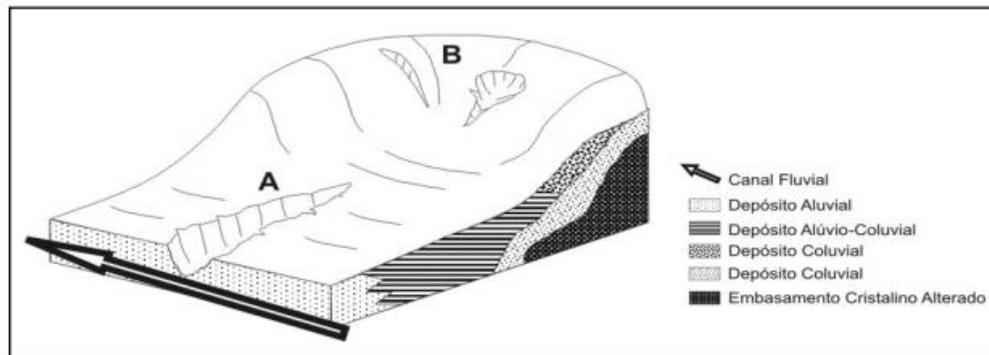
O primeiro autor propõe um modelo teórico para a evolução de voçorocas que, segundo ele, podem ser classificadas em três tipos: conectadas, desconectadas e integradas. O primeiro tipo está relacionado com o escoamento subsuperficial, ocorrendo nas partes baixas das encostas e estão conectadas as redes de drenagem ou canal fluvial. O segundo tipo ocorre nas partes altas das encostas, está relacionado com movimentos de massa e escoamento superficial, não possuindo ligação com a rede de drenagem ou canal fluvial. O terceiro tipo corresponde à integração dos dois primeiros, ou seja, a junção de voçorocas conectadas e voçorocas desconectadas. Exemplos dessa classificação podem ser observados conforme a Figura 25 e Figura 26.

Figura 25: Modelo de evolução de voçorocas.



Fonte: (Oliveira, 1999)

Figura 26: Diagrama ilustrando ocorrência de voçorocas conectadas a rede de drenagem/canal fluvial (A) e voçorocas desconectadas a rede de drenagem/canal fluvial (B).

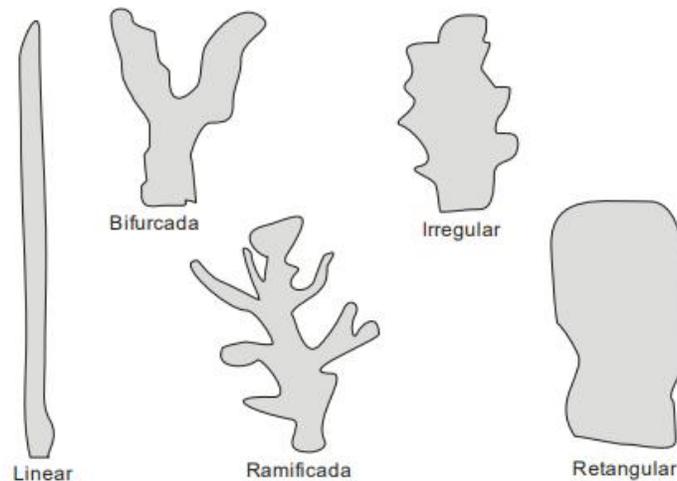


Fonte: (SALGADO et al., 2008)

Outra classificação possível para processos de voçorocamento está relacionada à forma. Vieira (2008), em estudo de processos erosivos em Manaus, desenvolveu classificações para voçorocas utilizando como base, as classificações desenvolvidas por Bigarella e Mazuchowski (1985), justificando o fato de que cada forma é resultante dos processos específicos e das

condições ambientais características do local onde as voçorocas ocorrem. Desse modo, classificou as voçorocas em Manaus como sendo de cinco tipos: linear, bifurcada, ramificada, irregular e retangular, conforme Figura 27.

Figura 27: Formas das voçorocas.



Fonte: (VIEIRA, 2008)

As voçorocas podem ser classificadas, também, em relação ao tamanho, de acordo com o volume de solo erodido, conforme Vieira e Albuquerque (2004), na Tabela 5.

Tabela 5: Tamanho de voçorocas com base em volume de solo erodido

Volume Erodido	Tamanho
Até 999 m ³	Muito Pequena
Entre 1000 m ³ e 9999 m ³	Pequena
Entre 10000 m ³ e 19000 m ³	Média
Entre 20000 m ³ e 40000 m ³	Grande
Superior a 40000 m ³	Muito Grande

Fonte: (VIEIRA E ALBUQUERQUE, 2004).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi verificado o histórico da urbanização do bairro Jardim da Torre e o histórico dos processos erosivos presentes na área de estudo através de informações diretas e entrevistas semiestruturadas com os funcionários do Grupo PHV, empresa de engenharia responsável pelo processo de reurbanização, revitalização e desenvolvimento do bairro Jardim da Torre e que realizou estudos ambientais complexos na região, visando desenvolver suas atividades.

Como complemento as informações coletadas com os funcionários do Grupo PHV, foram observadas diretamente em campo e através dos modelos digitais de superfície gerados, as formas de utilização da área a montante dos processos erosivos, a partir dos processos de urbanização (presença de moradias, arruamentos e sistemas de drenagem de águas pluviais e servidas) e da presença de áreas desmatadas, terraplanadas e com altos valores de declividade, que poderiam contribuir para o surgimento e expansão de voçorocas através da intensificação do escoamento superficial.

Os principais resultados obtidos neste trabalho consistem em: apresentação de um ortomosaico e um modelo digital de superfície (MDS) das voçorocas V1 e V2, bem como da área de estudo; caracterização das voçorocas V1 e V2, apresentando uma estimativa de solo erodido; estudo da evolução das voçorocas no período entre 2002 e 2019 através dos ortomosaicos e imagens de satélite do Google Earth; estudo investigativo e avaliativo do processo erosivo no bairro Jardim da Torre e avaliação da aplicabilidade do uso de drones para o monitoramento de processos erosivos.

5.1 Estudo de Campo

De acordo com o Programa de Gestão de Riscos e Resposta a Desastres Naturais (2014), na *Carta de Susceptibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações*, referente ao Município de Nova Lima, a área em que a voçoroca se encontra possui classe de susceptibilidade média e alta a movimentos gravitacionais de massa. A área é constituída de morros altos e baixos, apresentando declividades entre 10° e 30 °, podendo ser superior a 25° em alguns locais. Apresenta litologia composta de quartzito, talco xisto, gabros com formações ferríferas, metagabros, sepeintinos e formações ferríferas, além de conter processos de deslizamentos e rastejos.

5.1.1 Reconhecimento Prévio

Uma visita à área de estudo foi realizada no dia 11 de abril de 2019, com a finalidade de reconhecimento prévio do terreno. Foram observadas as melhores vias de acesso às áreas contendo os processos erosivos a serem mapeados e estudados com o uso de VANT, bem como os possíveis obstáculos que poderiam comprometer a utilização do drone, em voos autônomos, na área de entorno aos processos erosivos.

Constataram-se dois acessos viáveis a área de estudo. O primeiro, utilizando a linha férrea da MBR, atualmente desativada, que percorre parte do bairro Belvedere, Vila da Serra e Jardim da Torre, chegando até Mina de Águas Claras (MAC), pertencente a Vale. O segundo acesso, foi através do restaurante Recanto, localizado na Rua José de Alencar, no bairro Jardim da Torre, em Nova Lima.

Observou-se na área de estudo que, apesar da proximidade com diversos edifícios, casas e empreendimentos imobiliários, bem como árvores de grande e médio porte, não haviam obstáculos significativos que pudessem comprometer os voos autônomos a serem realizados pelo VANT.

Foram identificadas duas voçorocas na área de estudo, denominadas de V1 e V2. A voçoroca V2, de menor dimensão, apresentou apenas uma incisão, enquanto a voçoroca V1, de maior dimensão, apresentou duas incisões, que se desenvolvem até o fundo do vale, onde se encontram. As duas incisões foram denominadas V1-a e V1-b. As respectivas voçorocas e incisões podem ser observadas na Figura 28.

Figura 28: Voçoroca V1 e V2 e incisões.



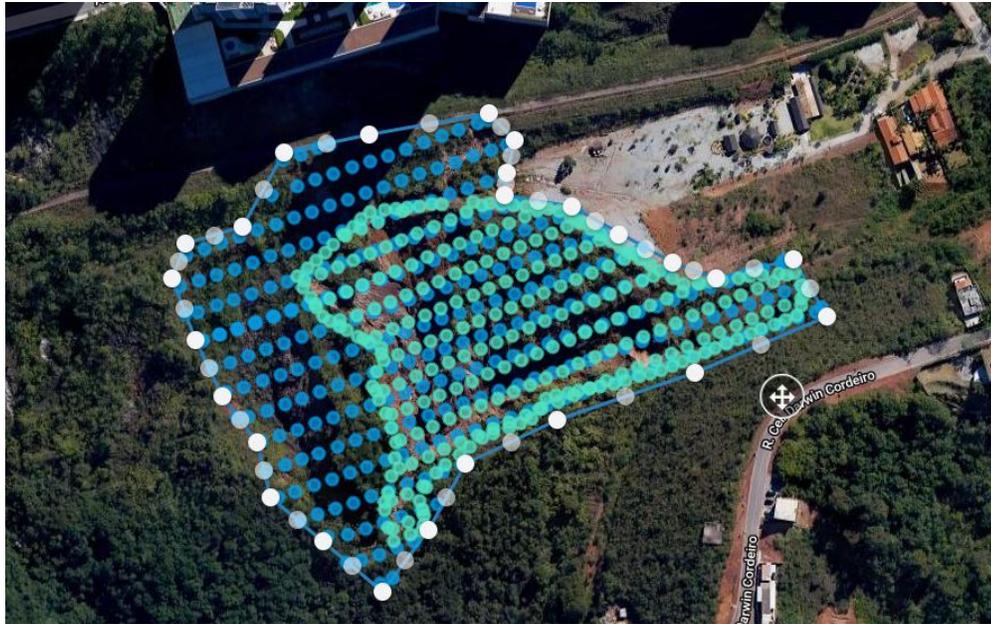
Fonte: o Autor.

5.2 Processamento de Dados

As imagens coletadas em campo, através da execução dos planos de voo Vale do Estrangulado 01, 02 e 03, foram importadas para o software Drone Deploy, versão para desktop. Assim, foram gerados dois ortomosaicos e dois MDS, referentes às voçorocas V1 e V2 e área de entorno. Ao todo, foram aproximadamente 30 horas de processamento de dados no software para a confecção dos ortomosaicos e MDS.

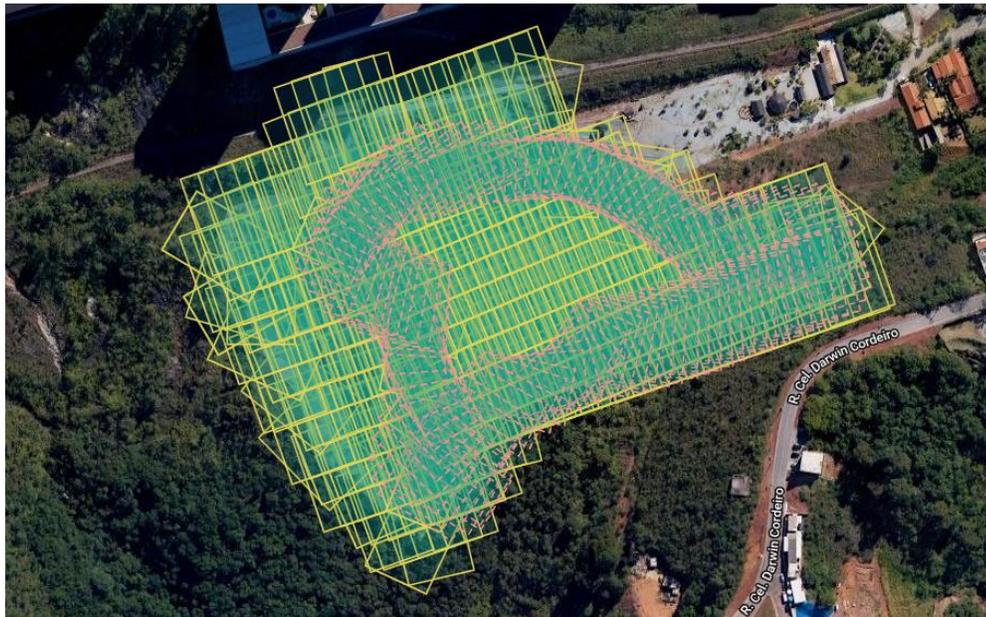
Através do plano de voo Vale do Estrangulado 02 e 03, foram coletadas 583 imagens para a confecção do ortomosaico e MDS, relativos à erosão principal. Na Figura 29 é possível notar os pontos de captura das ortofotos dos planos de voo Vale do Estrangulado 02 e 03, bem como as projeções das ortofotos na Figura 30.

Figura 29: Pontos de Controle dos planos de voo Vale do Estrangulado 02 e 03.



Fonte: o Autor

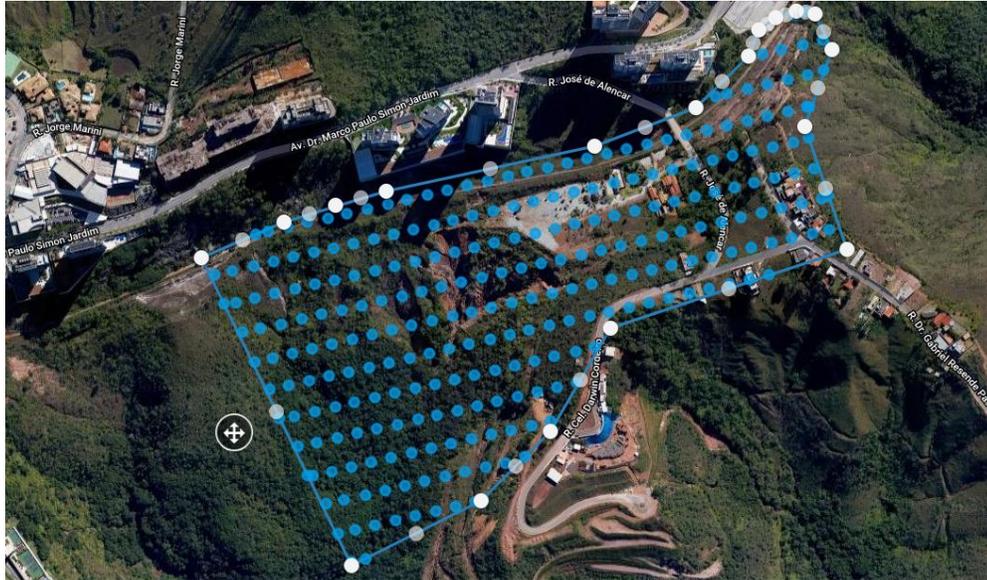
Figura 30: Projeção das ortofotos com sobreposições laterais e frontais referentes aos planos de voo Vale do Estrangulado 02 e 03.



Fonte: o Autor.

Através do plano de voo Vale do Estrangulado 03, foram capturadas 209 imagens para confecção do ortomosaico e MDS abrangendo a área de entorno. Na Figura 31, é possível notar os pontos de captura das ortofotos do plano de voo Vale do Estrangulado 03, bem como as projeções das ortofotos, na Figura 32.

Figura 31: Pontos de Controle do plano de voo Vale do Estrangulado 01.



Fonte: o Autor.

Figura 32: Projeção das ortofotos com sobreposições laterais e frontais referentes ao plano de voo Vale do Estrangulado 01.



Fonte: o Autor.

5.2.1 Mapas

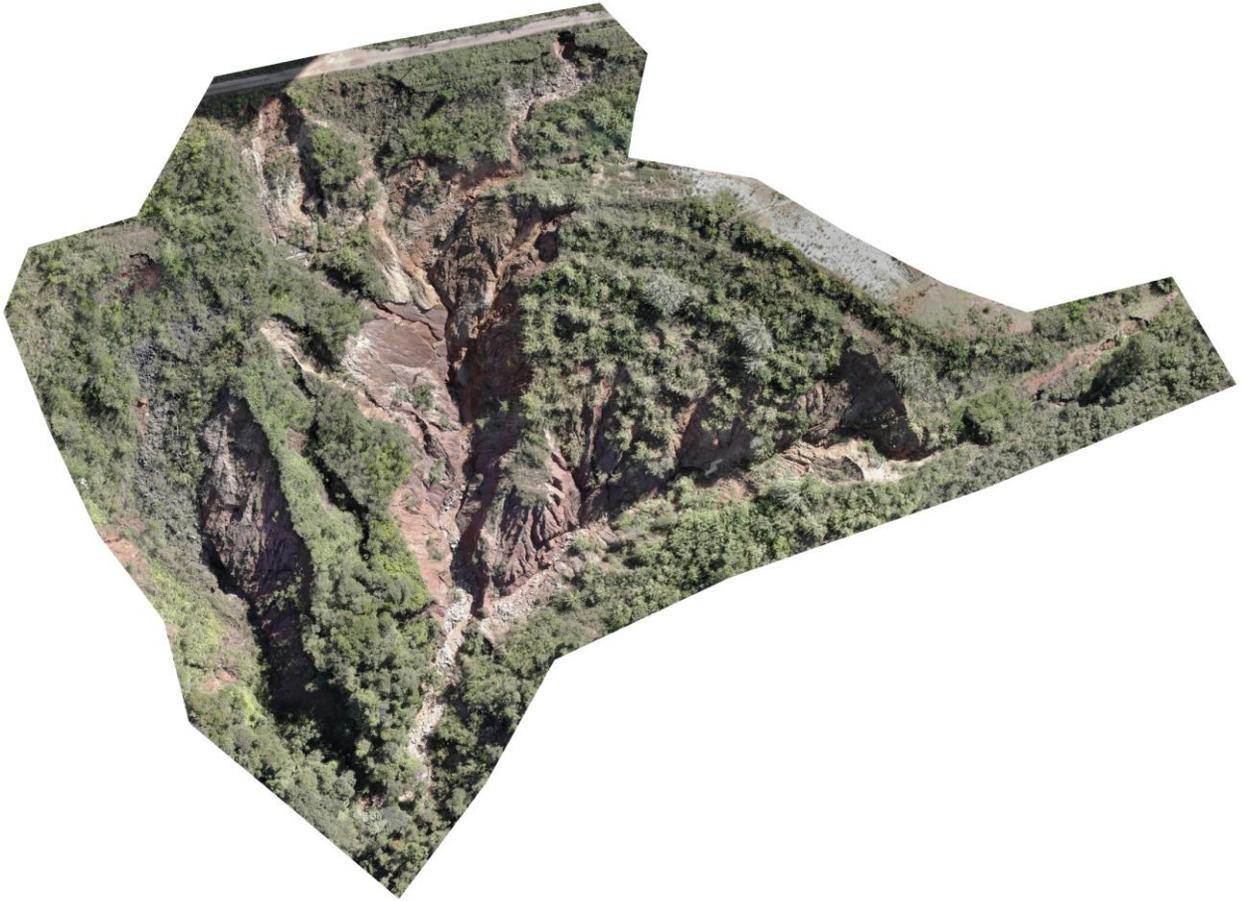
5.2.1.1 Ortomosaico

O primeiro ortomosaico corresponde ao plano de voo Vale do Estrangulado 01, abrangendo uma área de 22 hectares, contendo toda a voçoroca e grande parte da área de entorno.

O segundo ortomosaico gerado corresponde à combinação das ortofotos capturadas nos planos de voo Vale do Estrangulado 02 e 03. Esta combinação foi promovida levando-se em conta que as duas missões abrangiam o imageamento do mesmo objeto de interesse: a erosão principal presente na área estudada. Dessa forma, através da combinação das ortofotos adquiridas nos dois planos de voo, os ortomosaicos gerados poderiam apresentar maior nível de detalhamento e fidelidade à estrutura da voçoroca, uma vez que, quanto maior o número de informações (ortofotos) disponíveis para o processamento em software, melhor será qualidade dos modelos gerados.

Após o processamento das imagens no software Drone Deploy, foram obtidos os ortomosaicos das voçorocas V1 e V2 (Figura 33) e da área de entorno (Figura 34).

Figura 33: Ortomosaicos da área de estudo (voçorocas V1 e V2).



Fonte: o autor.

Figura 34: Ortomosaicos do Vale do Estrangulado.



Fonte: o autor.

Com os ortomosaicos gerados, foi possível observar alguns pontos positivos e negativos em relação aos mapas.

Primeiramente, notou-se a excelente resolução espacial apresentada pelos ortomosaicos e a grande fidelidade no que tange as representações dos objetos de interesse presentes, como por exemplo, as voçorocas V1 e V2, bem como estruturas de drenagem, o que possibilitou um estudo fidedigno.

Entretanto, alguns pontos negativos podem ser destacados. Na confecção dos planos de voo, as resoluções previstas para os ortomosaicos confeccionados a partir das missões Vale do Estrangulado 01, 02 e 03 foram respectivamente, 2,7 cm/pixel, 1 cm/pixel e 1 cm/pixel. O

ortomosaico gerado através do plano de voo Vale do Estrangulado 01, apresentou uma resolução espacial final de 3,8 cm/pixel, ou seja, 40% a mais do que a previsão do software. Em relação ao ortomosaico gerado a partir da combinação dos Planos de Voo Vale do Estrangulado 02 e 03, ambos com a mesma resolução espacial prevista, apresentou uma resolução espacial final de 2 cm/pixel, ou seja, o dobro da previsão do software. Isso pode ser um problema em estudos futuros, que demandem uma resolução espacial específica, pois a previsão do software não apresentou fidelidade com o resultado apresentado.

Apesar disso, para efeitos deste estudo, as resoluções espaciais finais obtidas através dos ortomosaicos foram bastante satisfatórias, sendo aproximadamente 20 (Vale do Estrangulado 02) e 10 (Vale do Estrangulado 01) vezes maiores, se comparadas às imagens de satélites de alta resolução disponíveis no mercado como, por exemplo, a do satélite GEOEYE, que entrega imagens de até 41 cm/pixel (ENGESAT, 2019).

Outro ponto importante notado foi relativo à acurácia dos ortomosaicos em relação à precisão absoluta (precisão global). A precisão absoluta é o grau de fidelidade em que um ponto em um mapa corresponde a sua posição real em um sistema de coordenadas fixo no mundo real. Se um mapa apresenta alto nível de precisão absoluta, a latitude e longitude de um ponto neste mapa corresponderão de forma bastante precisa às coordenadas de GPS. Isto é importante para estudos em que seja necessário um alto grau de confiança em relação à latitude e longitude de cada ponto no mapa, como por exemplo, estudos que levam em conta limites de propriedades. A precisão absoluta pode apresentar erros de até um metro em relação à precisão horizontal e de até 3 metros em relação à precisão vertical (DRONE DEPLOY, 2019).

Nos ortomosaicos gerados através do mapeamento das áreas de interesse, foram observados descontinuidades de estruturas de drenagem e do terreno, em comparação aos mapas presentes no Google Maps, indicando, assim, erros de precisão absoluta, conforme Figura 35.

Figura 35: Erro de precisão absoluta verificado nos ortomosaicos gerados.



Fonte: o Autor.

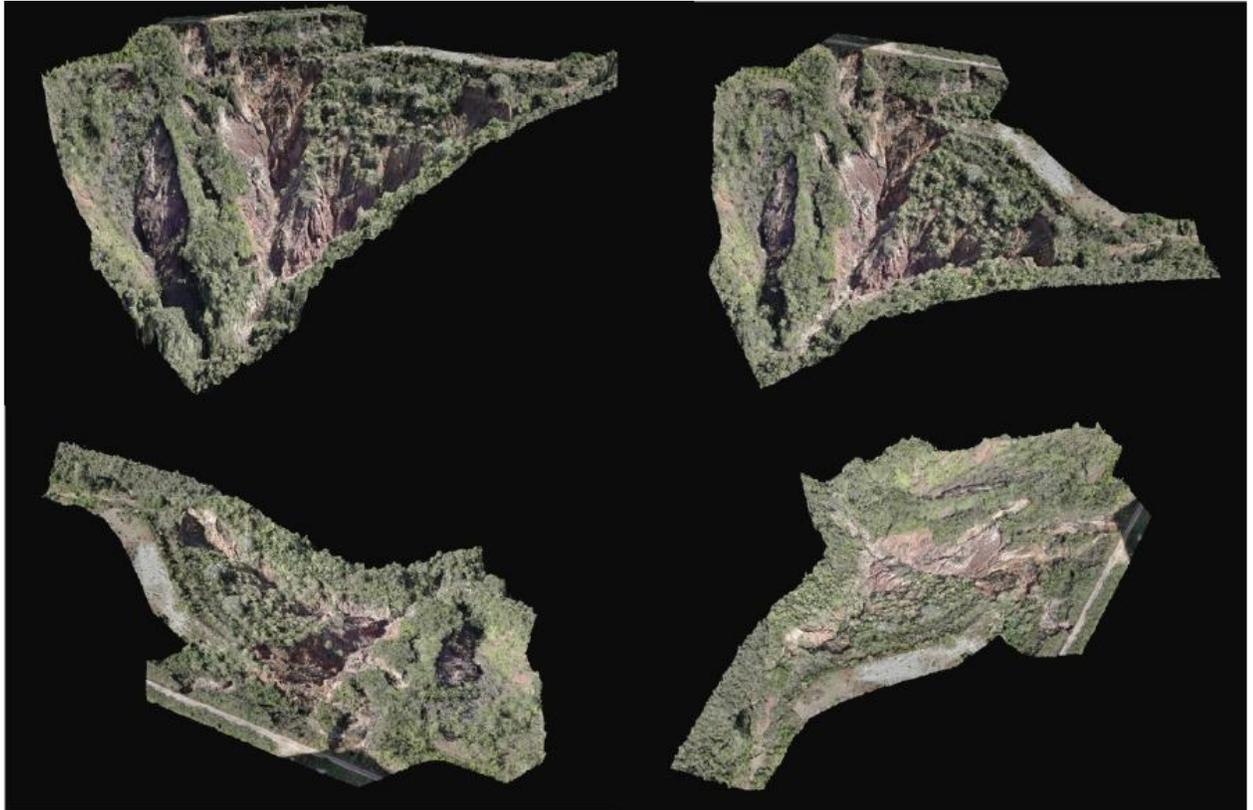
Para que esse problema seja amenizado e a precisão do GPS seja melhorada, é possível realizar mapeamentos com drone usando Ground Control Points (CGP), ou seja, pontos de controle no solo. Como complemento, pode-se dar preferência para sistemas de GPS diferenciais, como o RTK ou PPK, que melhoram a precisão de metros para centímetros. Somado a esses dois fatores, é possível realizar mapeamentos com sobreposição frontal e lateral maiores para melhor precisão (DRONE DEPLOY, 2019).

Entretanto, para efeitos deste estudo, que leva em consideração os aspectos dimensionais, como por exemplo, o volume e área do solo erodido nas voçorocas V1 e V2, este erro de precisão em questão, não surtirá problemas. Para este tipo de estudo, é importante que a precisão relativa (precisão local), que leva em conta a precisão de um ponto no mapa em relação ao outro ponto, esteja correta, como observado nos ortomosaicos gerados.

5.2.1.2 Modelos Digitais de Superfície

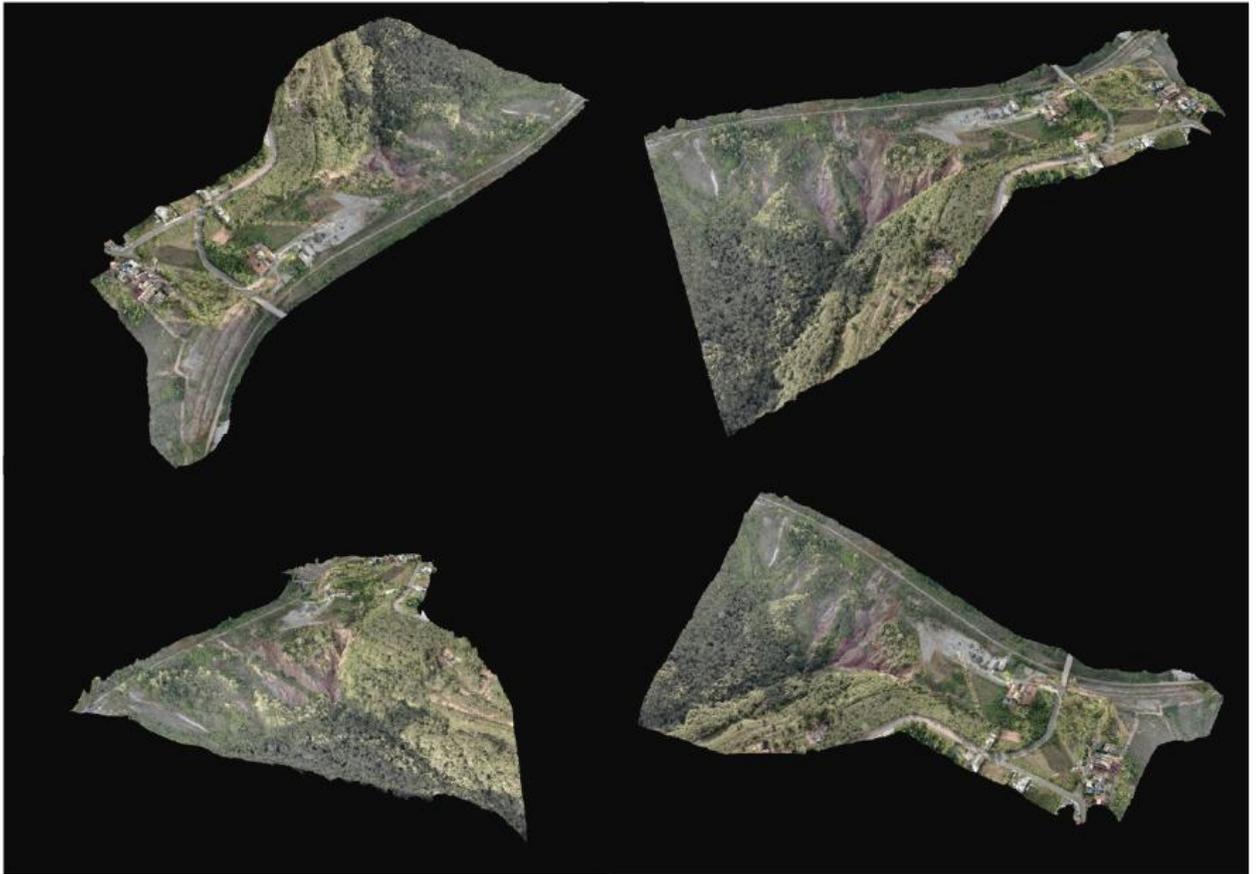
Após o processamento das imagens no software Drone Deploy, foram obtidos os MDS das voçorocas V1 e V2 (Figura 36) e da área de entorno (Figura 37).

Figura 36: MDS das voçorocas em posições variadas.



Fonte: o Autor.

Figura 37: MDS do vale em posições variadas.

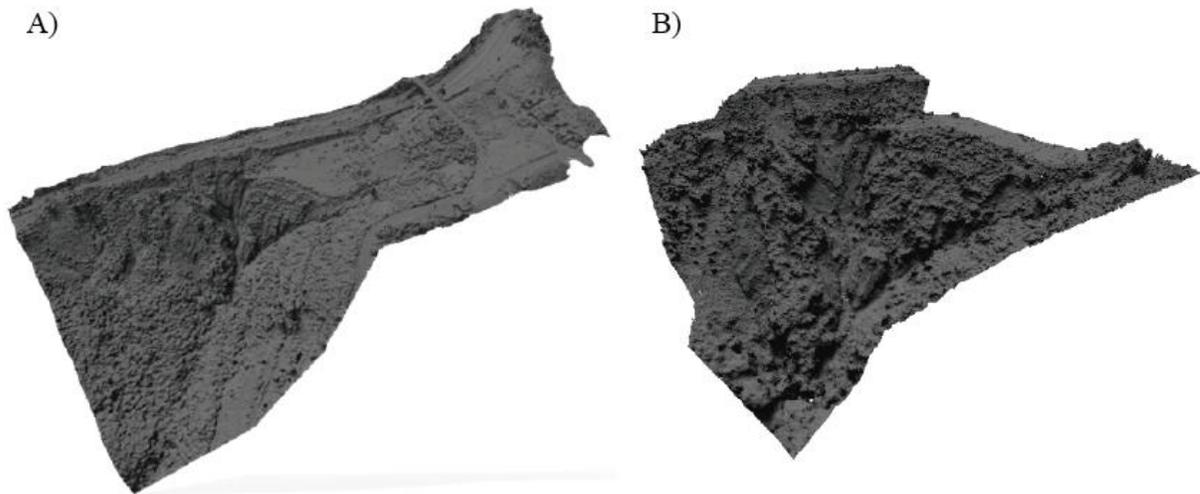


Fonte: o Autor.

O primeiro MDS gerado corresponde à combinação das ortofotos capturadas nos planos de voo Vale do Estrangulado 02 e 03. Já o segundo MDS gerado corresponde ao plano de voo Vale do Estrangulado 01, abrangendo uma área de 22 hectares, contendo toda a voçoroca e grande parte da área de entorno.

Foram geradas imagens raster dos dois MDS, para uma melhor visualização tridimensional (Figura 38).

Figura 38: Imagem raster da área de entorno (A) e voçorocas V1 e V2 (B).



Fonte: o Autor

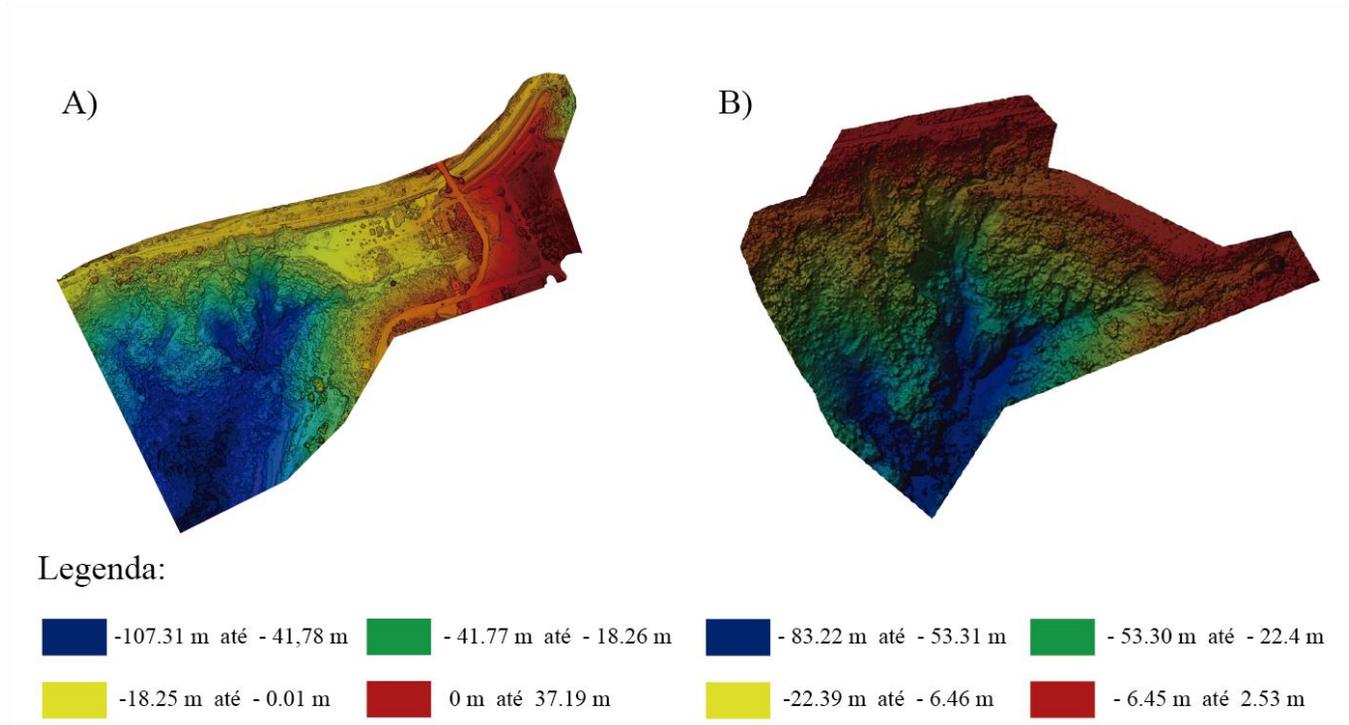
5.2.1.3 Modelo Digital de Elevação

Além do ortomosaico e MDS, existe disponível no software a ferramenta para a plotagem de um modelo digital de elevação (MDE), sobreposto ao ortomosaico e útil para visualização da elevação do terreno imageado pelo drone.

O software DroneDeploy usa dados de elevação relativos no processamento de mapas. Isso significa que as elevações não são expressas em relação ao sistema WGS 84 Global Reference de elevação. Ao contrário, são expressas em metros acima ou abaixo do ponto de decolagem do drone, ou seja, o software considera a superfície de referencia como sendo o local de decolagem do drone. Assim, para a plotagem dos mapas, procurou-se realizar a decolagem do drone sempre da mesma posição na área de estudo: o terreno que compreende a antiga linha férrea.

Verificou-se através do MDE, que a área de estudo, levando-se em conta a voçoroca e todo o terreno imageado ao redor, possui uma variação em sua elevação de aproximadamente 144,5 metros, sendo a porção mais baixa do terreno atingindo 107,31 metros abaixo da superfície de referencia e a porção mais alta, atingindo 37,19 metros acima desta mesma superfície. Já em relação a área da voçoroca isolada, verificou-se uma variação de 84,75 metros, sendo o ponto mais baixo da estrutura da erosão estando 83,22 metros abaixo da superfície de referência e o ponto mais alto, a 2,53 metros acima desta superfície (Figura 39).

Figura 39: MDE gerado através do software Drone Deploy.



Fonte: o Autor.

Esta ferramenta foi de extrema importância para o auxílio do cálculo do volume das voçorocas V1 e V2. Ao combinar a ferramenta para o cálculo de volume com o MDE gerado, foi possível identificar com melhor precisão a mudança abrupta entre as margens externas das voçorocas (mais suavizadas) e as encostas internas das mesmas (mais íngremes), para traçar os limites de V1 e V2 e consequentemente, obter os valores de área e volume do solo erodido em cada uma das erosões.

5.2.1.4 Plant Health

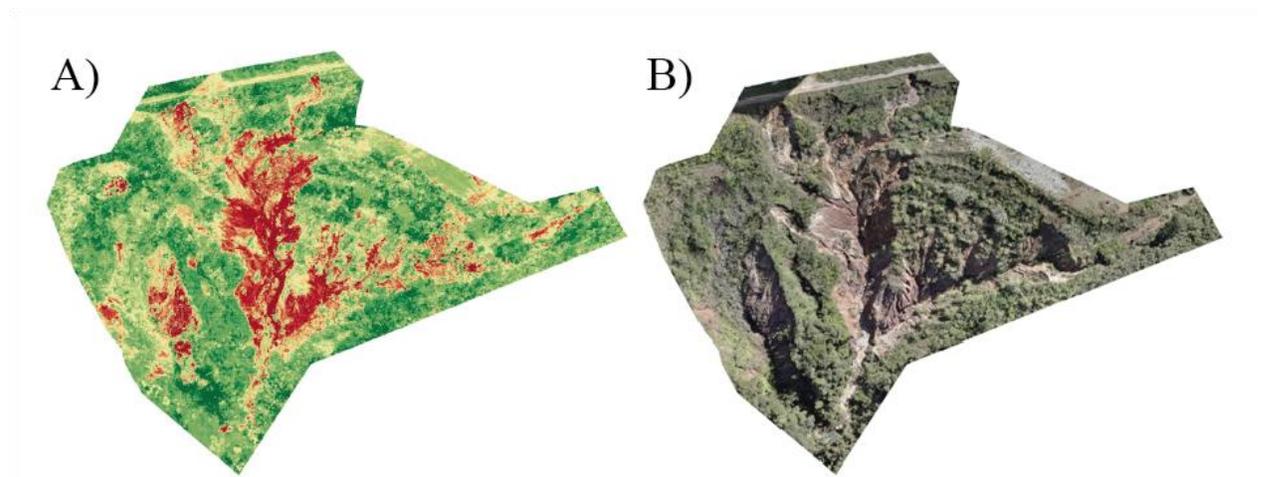
Outra ferramenta interessante, presente no software Drone Deploy, é a possibilidade de se plotar uma mapa de Plant Health, ou saúde vegetal. Podemos medir a saúde das plantas usando imagens de drones, uma vez que, plantas saudáveis refletem a luz de uma maneira diferente do que as plantas que não apresentam saúde adequada. Plantas saudáveis tendem a refletir com maior intensidade a luz verde e com menos intensidade a luz vermelha. Já as plantas que apresentam saúde inadequada, tendem a refletir principalmente a luz vermelha.

Para realizar a plotagem do mapa de saúde vegetal, o software Drone Deploy utiliza o algoritmo Visible Atmospherically Resistant Index (VARI), projetado e testado para trabalhar com câmeras RGB, presentes em drones. Este algoritmo de fitossanidade compara as proporções de luz capturadas através de diferentes bandas (vermelho, verde e azul) para calcular valores numéricos para cada pixel ou área de um determinado mapa. Estes valores são, então, atribuídos aos mapas, de forma que cada região seja colorida conforme a saúde vegetal apresentada. Isto proporciona a identificação da variação entre áreas saudáveis e não saudáveis.

Além da saúde vegetal, o VARI mede a refletância da vegetação e do solo, possibilitando a identificação do que é vegetação (tons de verde) e do que é solo exposto (tons de vermelho) em uma imagem.

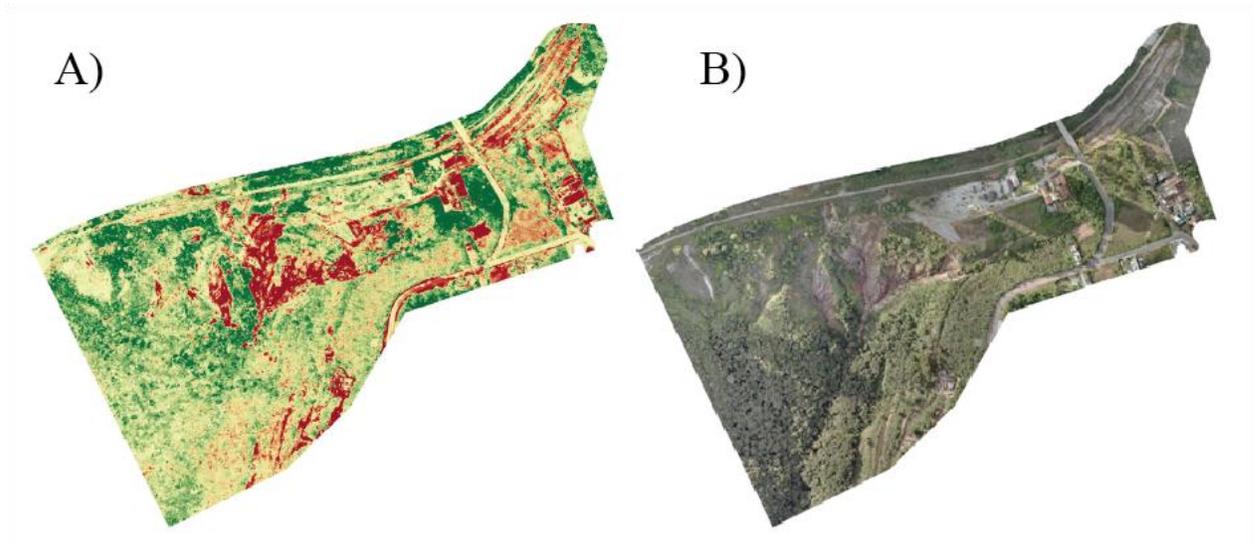
Os mapas de Plant Health foram plotados de forma sobreposta aos ortomosaicos gerados e possibilitam observar a relação entre solo exposto e cobertura vegetal no interior das voçorocas V1 e V2 (Figura 40), bem como a presença de solo exposto ao redor da área de estudo (Figura 41).

Figura 40: Relação vegetação e solo exposto no interior das voçorocas V1 e V2.



Fonte: o Autor.

Figura 41: Relação vegetação e solo exposto na área de entorno das voçorocas V1 e V2.



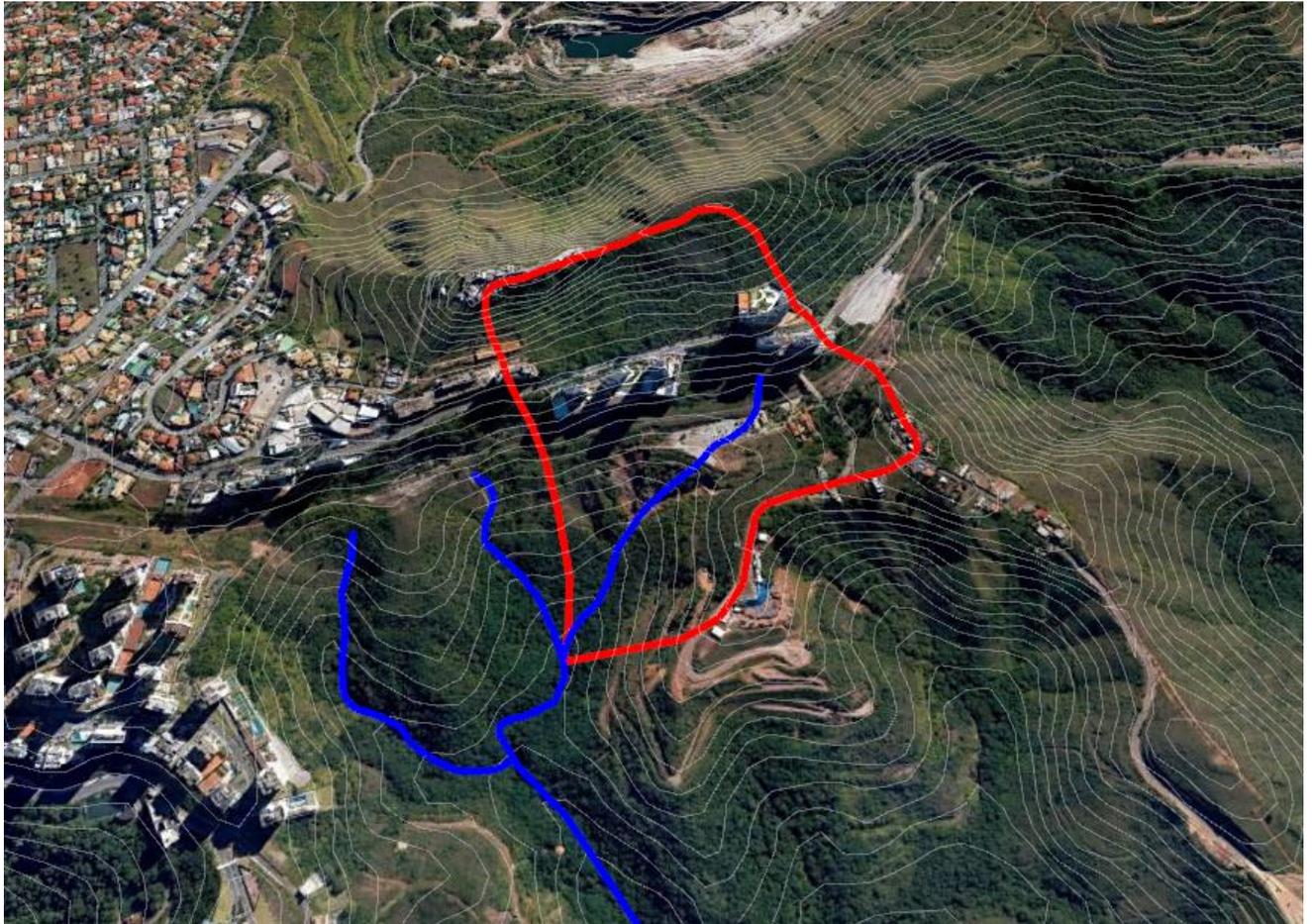
Fonte: o Autor.

5.3 Caracterização das Voçorocas

Ao traçar a área de contribuição das águas pluviais, referentes à nascente do Córrego do Estrangulado, onde estão ocorrendo os processos erosivos do solo, tem-se que a área de contribuição é de aproximadamente 30 hectares (300.000 m²).

Grande parte do escoamento superficial da área, referente à precipitação pluvial, tende a dirigir-se para as voçorocas V1 e V2, uma vez que elas estão presentes no fundo do vale, ao longo do canal fluvial do córrego (Figura 42).

Figura 42: Área de Contribuição da Nascente do Córrego do Estrangulado.



Fonte: Google Earth, 2019

Assim, tem-se que o Córrego do Estrangulado é o destino final de todo o escoamento pluvial desta microbacia. O processo de voçorocamento que vem ocorrendo ao longo do canal fluvial deste córrego, ao longo dos anos, é favorecido pelo escoamento superficial das águas das chuvas, que descem das regiões de entorno e se concentram no fundo do vale, onde os processos erosivos têm sido desencadeados continuamente, contribuindo para a expansão das voçorocas.

5.3.1 Tipo, Forma e Tamanho

As voçorocas V1 e V2 foram caracterizadas segundo o tipo, forma e tamanho, de acordo com as metodologias de Oliveira (1992), Vieira (2008) e Vieira e Albuquerque (2004). Em um primeiro momento, foi possível caracteriza-las segundo o tipo e a forma. A caracterização segundo o tamanho está diretamente relacionada ao volume de solo erodido, o que será abordado adiante.

5.3.1.1 Análise da Voçoroca V1

Constatou-se que a voçoroca V1 é do tipo conectada, pois seu desenvolvimento ocorre nas partes mais baixas do Vale do Estrangulado, no canal fluvial do córrego de mesmo nome, próximo a sua nascente principal, como constatado por Vieira e Almeida (2018), em trabalho realizado na mesma voçoroca, em 2014.

Em relação a sua forma, constatou-se que atualmente a voçoroca V1 apresenta formato bifurcado. É importante salientar que a voçoroca V1 começou seu processo de expansão a partir da incisão V1-a, em 2008 e encontra-se ainda em processo de expansão.

Posteriormente, ocorreu o surgimento de uma segunda incisão (V1-b), que se uniu a incisão V1-a no fundo do vale, dando origem a um formato bifurcado de voçorocamento. Antes do surgimento da segunda incisão, a voçoroca apresentava forma irregular.

Segundo Vieira (2008), em seu estudo sobre o desenvolvimento e distribuição de voçorocas na cidade de Manaus, no estado do Amazonas, voçorocas do tipo bifurcada apresentam duas zonas de contribuição de fluxos superficiais concentrados. Analisando a série histórica de imagens de satélite, através do Google Earth, foi possível constatar que o processo de voçorocamento em V1, se deu, principalmente, através de dois fluxos superficiais concentrados, sendo um dando origem a incisão V1-a e outro dando origem a incisão V1-b, o que caracterizou, posteriormente, o formato bifurcado da voçoroca, conforme Figura 43.

Figura 43: Ortomosaico da voçoroca V1 mostrando formato bifurcado.



Fonte: o Autor.

5.3.1.1.1 Incisão V1-a

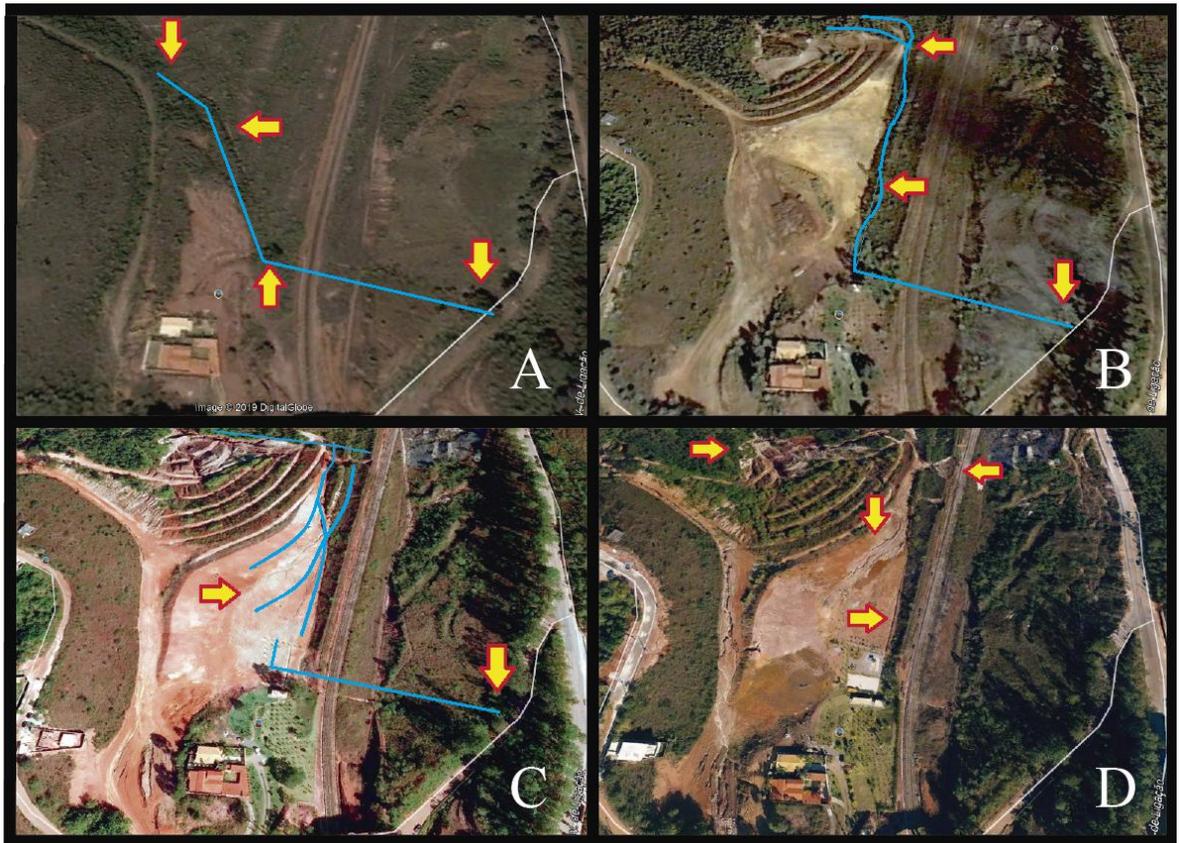
A partir das imagens de satélite datadas de 2002, foi possível constatar a presença de uma estrutura de drenagem no terreno, usada para o direcionamento do fluxo de água da nascente principal do Córrego do Estrangulado até o fundo do vale, onde seu canal fluvial prossegue. Entretanto, o local passou por obras de terraplanagem e retaludamento de encosta, entre 2004 e 2008, para uma possível retirada de solo, direcionada a obras da construção civil, próximas à área de estudo.

Assim, o fluxo de água proveniente da nascente do córrego do estrangulado foi interrompido e redirecionado para a parte direita do vale. A estrutura de drenagem anterior foi reconfigurada e desconectada do fundo do vale, lançando o fluxo de água da nascente do córrego sobre o terreno totalmente exposto. O fluxo de água, devido às intervenções no terreno,

direcionou-se naturalmente para a porção direita do vale, escoando pela lateral dos taludes, o que foi possível constatar devido à presença de sulcos no solo que seguiam nesta direção.

Ao ser redirecionando para a porção direita dos taludes, o fluxo de água contribuiu para o surgimento da incisão em questão. Na Figura 44, é possível observar uma série histórica identificando o surgimento da incisão V1-a.

Figura 44: Histórico de Imagens de satélite indicando o surgimento da incisão V1-a. (A) Canaleta de drenagem da nascente do Córrego do Estrangulado em 2002. (B) Canaleta reconfigurada devido às obras de terraplanagem e retaludamento em 2008. (C) Presença de rastros de água no solo indicando direção do fluxo de água em 2009. (D) Erosão do solo e intensificação do voçorocamento em 2011.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019.

Atualmente, é possível observar que o terreno foi recoberto por brita e existem estruturas de drenagem recentes no solo, com a finalidade de retardar o fluxo de água. Entretanto, estas estruturas continuam a direcionar o fluxo da nascente do córrego do estrangulado para dentro da

voçoroca, contribuindo para a sua expansão, como podem ser observados na Figura 45 e Figura 46 .

Figura 45: MDS mostrando a situação atual da área contendo a incisão V1-a (A). MDS mostrando intervenções estruturais no terreno para retardar o fluxo do escoamento superficial (B).



Fonte: O Autor.

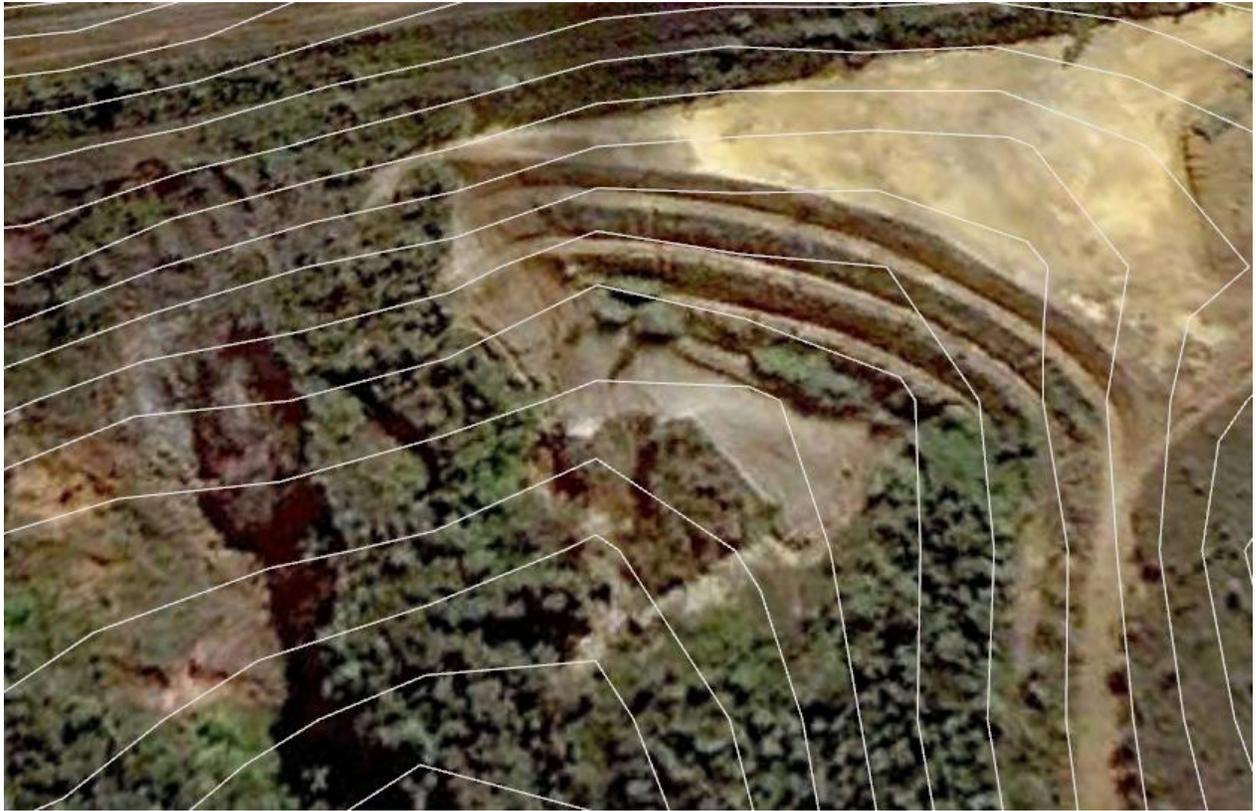
Figura 46: Intervenções estruturais no terreno.



Fonte: O Autor.

É importante ressaltar, ainda, que, através da sobreposição das curvas de nível do bairro Jardim da Torre com as imagens de satélite presentes na série histórica do Google Earth, constatou-se que a intervenção feita no terreno, principalmente no que tange as obras de retaludamento da encosta presente no Vale do Estrangulado, realizadas após a exploração do local, não respeitaram devidamente a altimetria da área. É possível verificar que os patamares dos taludes não estão em consonância com as curvas de nível do terreno, o que pode ter contribuído para fragilizá-lo, deixando-o mais suscetível a erosão (Figura 47).

Figura 47: Curvas de nível (5 metros) sobrepostas à imagem de satélite, em 2008



Fonte: Google Earth, 2019

Tabalipa e Fiori (2008) estudaram a influência da vegetação na estabilidade de taludes na bacia do Rio Ligeiro, no estado do Paraná, através de métodos analíticos, empregando a teoria do equilíbrio limite. Os estudos mostraram a importância da vegetação no aumento da estabilidade de vertentes e a necessidade de sua preservação.

Desse modo, em obras de retaludamento de encostas, é de extrema importância à realização da revegetação dos taludes com a finalidade de proteger o solo e deixá-lo menos exposto às intempéries.

Imagens de satélite datadas de 2009 evidenciam a revegetação ineficiente e quase inexistente realizada nos taludes e áreas de entorno das obras, o que deixou o solo exposto e contribuiu para a fragilização das estruturas do talude, que começaram a colapsar devido à ação do escoamento superficial e processo de voçorocamento (Figura 48).

Figura 48: Revegetação ineficiente nos taludes após finalização das obras, em 2009.



Fonte: Google Earth, 2019.

Nota-se, também, a presença de estruturas de drenagem colapsadas no interior da voçoroca e em seus arredores, anteriormente usados para a drenagem das águas pluviais da bacia, bem como para promover o direcionamento das águas da nascente do Córrego do Estrangulado até o fundo do vale. Estas estruturas foram comprometidas pelo escoamento superficial e pela erosão do solo intensificada no interior da voçoroca, evidenciando o mau planejamento e dimensionamento das estruturas usadas para realizar o escoamento das águas até o fundo do vale (Figura 49).

Figura 49: (A) Imagem de satélite identificando canaletas de drenagem em processo de colapso, em 2009, na incisão V1-a. (B) MDS mostrando caneleta de drenagem colapsada na cabeceira da voçoroca V1 atualmente.



Nota-se, também, a forte presença de entulhos da construção civil, espalhados pelas cabeceiras da voçoroca V1. Estes resíduos podem ter sido usados, de forma irregular, como uma alternativa para retardar a velocidade do escoamento superficial das águas das chuvas ou, simplesmente, como despejos clandestinos efetuados pelas construtoras responsáveis pelas obras nos bairros de entorno (Figura 50).

Figura 50: MDS mostrando a presença de entulhos da construção civil despejados clandestinamente no interior da voçoroca V1.



Dessa forma, é possível inferir que a retirada de solo (áreas de empréstimos para a construção civil), as obras de retaludamento da encosta, somados a baixa cobertura vegetal nos taludes e terreno de entorno, bem como a presença de sistema de drenagem ineficiente, podem ter contribuído significativamente para a fragilização das estruturas dos taludes e para a instabilidade da área, tornando-a mais susceptível a erosão do solo através do escoamento superficial, o que contribuiu para o surgimento e expansão acelerada da voçoroca V1, primeiramente no tocante à incisão V1-a e, posteriormente, à incisão V1-b.

5.3.1.1.2 Incisão V1-b

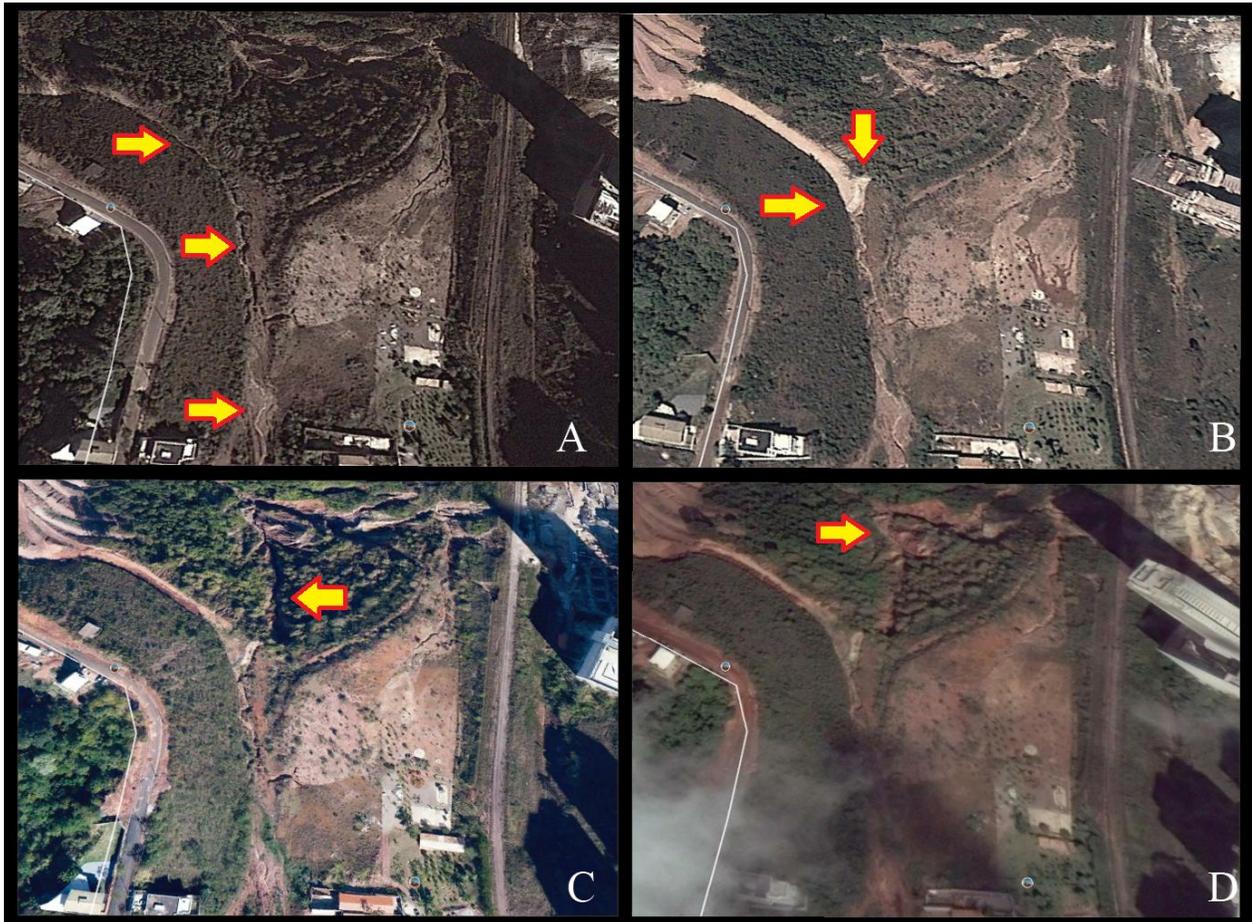
Em relação à incisão V1-b, além de estar, analogamente a incisão V1-a, relacionada à realização de taludes sem consonância com as curvas de nível do terreno, pode-se relacionar seu surgimento, também, com a presença de uma via urbana abandonada, proveniente do loteamento do Bairro Jardim da Torre, aprovado pela prefeitura de Nova Lima em 1954.

De acordo com a série histórica de imagens de satélite do Google Earth, foi possível constatar que esta via estava abandonada e tomada pela vegetação, até 2004. Porém, foi reaberta e utilizada como via de acesso a área aonde vem ocorrendo os processos erosivos, com a finalidade de retirada de solo para obras da construção civil. Posteriormente, a via foi usada como acesso para a realização de obras de terraplanagem e retaludamento da encosta do Vale do Estrangulado, entre 2004 e 2008, o que expos o solo e contribui para a sua instabilidade.

Com o fim das obras, não houve revegetação da área e o solo permaneceu, em sua maior totalidade, exposto. Este fato propiciou a intensificação dos processos erosivos no local, através do escoamento superficial, causando ravinas ao longo de toda a via.

Posteriormente, com o processo de reurbanização do bairro Jardim da Torre, foram feitas obras para a recuperação de parte desta via, em 2014, sendo possível notar que o escoamento superficial foi direcionado para o fundo do vale, em direção ao Córrego do Estrangulado, contribuindo para o início do voçorocamento dos taludes na parte esquerda do vale, causando o surgimento da incisão V1-b, conforme Figura 51.

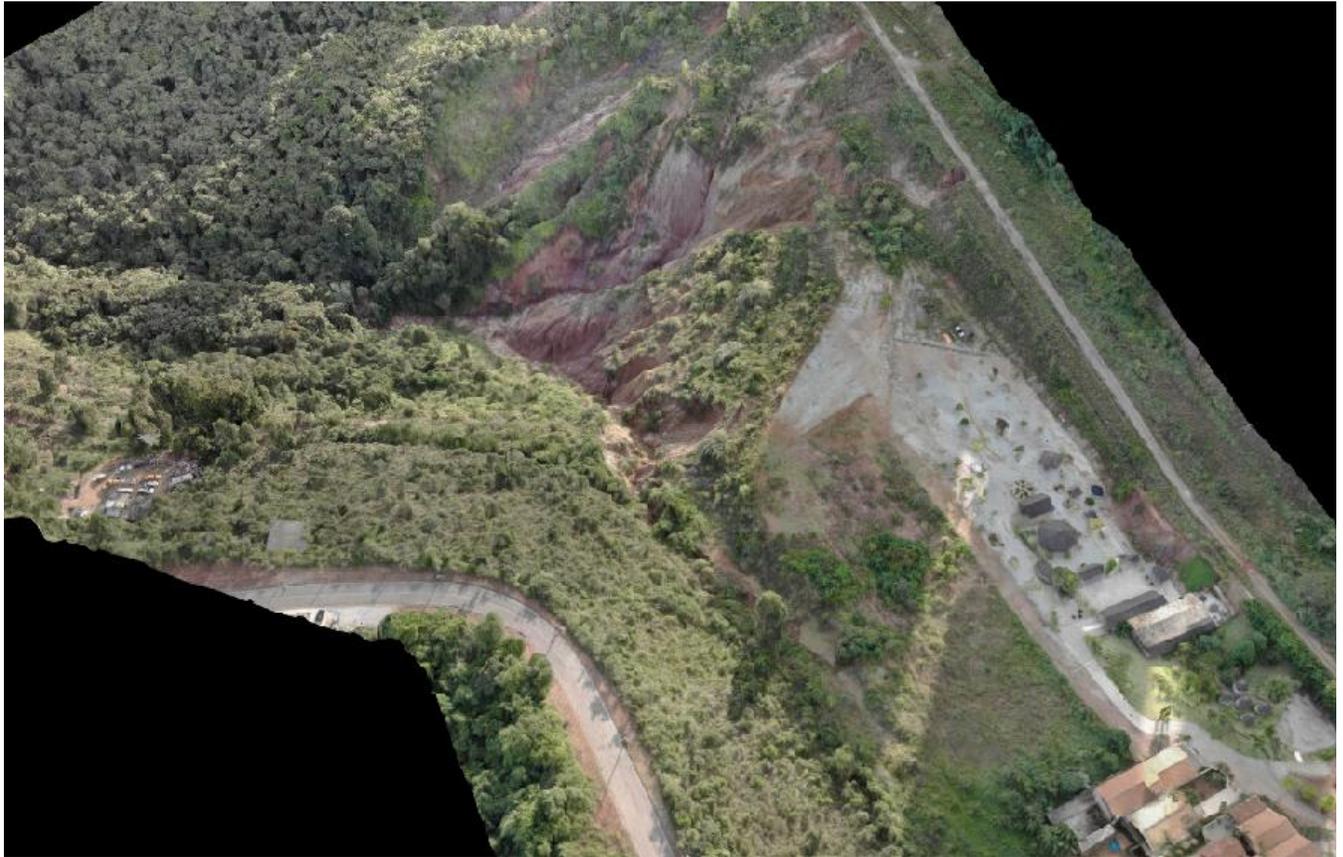
Figura 51: Histórico de imagens de satélite indicando o surgimento da incisão V1-b. (A) Presença de ravinamento em via abandonada, outubro de 2013. (B) Recuperação da via abandonada em obras de reurbanização do bairro Jardim da Torre, setembro de 2014. (C) Aparição da incisão V1-b no processo de voçorocamento. (D) Intensificação do processo erosivo.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019.

A incisão V1-b, no período atual, encontra-se amplamente desenvolvida e conectada a incisão V1-a, no fundo do vale, configurando uma voçoroca de formato bifurcado. A via prevista no loteamento de 1954 do Bairro Jardim da Torre, que foi reaberta e contribuiu para o surgimento da incisão V1-b, atualmente encontra-se tomada pela vegetação novamente (Figura 52).

Figura 52: MDS indicando incisão V1-b em período atual.



Fonte: O Autor.

5.3.1.2 Análise da Voçoroca V2

Constatou-se que a voçoroca V2, assim como a voçoroca V1, é do tipo conectada, uma vez que, além de seu desenvolvimento ter ocorrido nas partes mais baixas do Vale do Estrangulado, a erosão está associada ao canal fluvial do córrego de mesmo nome, sendo seu surgimento estabelecido pelo escoamento superficial e possíveis intervenções realizadas no solo do terreno em períodos anteriores a 2002.

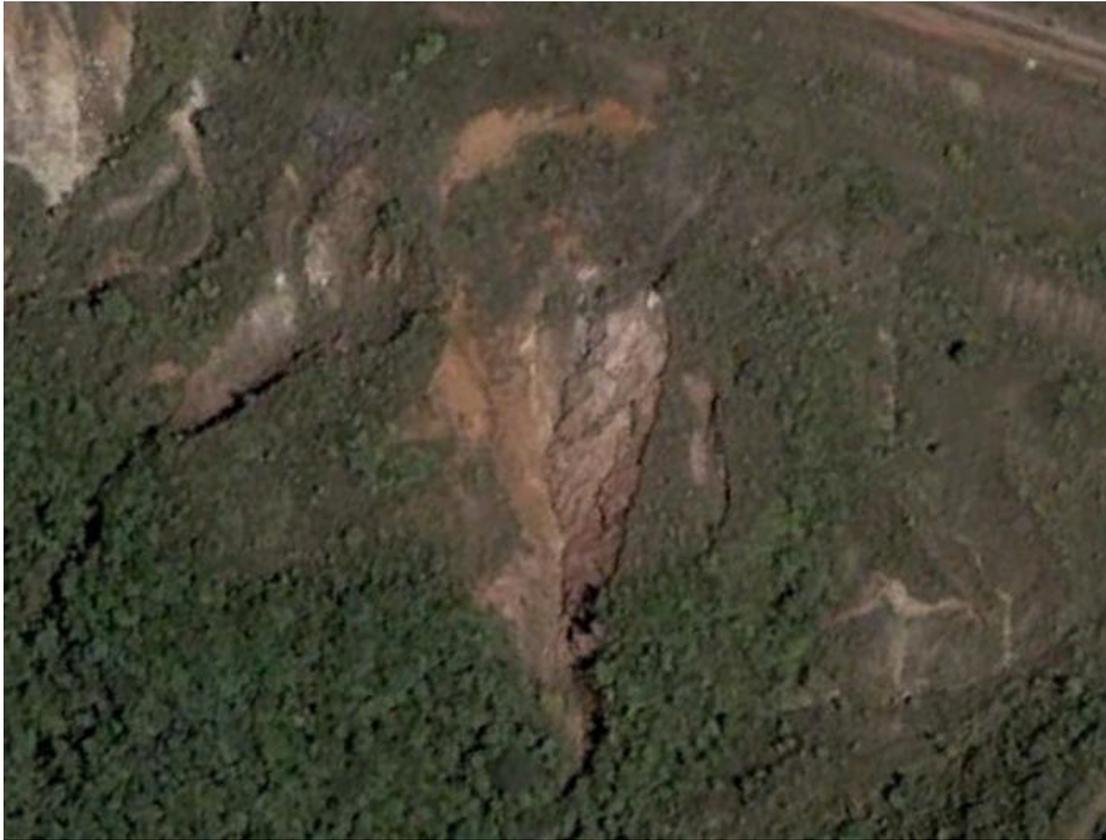
Em relação a sua forma, constatou-se que a voçoroca V2 apresentou formato irregular, conforme Figura 53.

Figura 53: Ortomosaico da Voçoroca V2 mostrando forma irregular.



Segundo Vieira (2008), voçorocas do tipo irregular podem apresentar ligações com a existência de um ou mais fluxos superficiais. Entretanto, como a série histórica do Google Earth, contendo as imagens de satélite da área de estudo, iniciam a partir do ano de 2002, não foi possível analisar e inferir sobre o desenvolvimento dessa voçoroca, uma vez que a voçoroca V2 já apresentava estado avançado de erosão neste ano (Figura 54).

Figura 54: voçoroca V2 em 2002.



Fonte: Google Earth, 2019.

Entretanto, nota-se, através da série histórica do Google Earth, a presença de sinais no solo, próximos a voçoroca V2, que evidenciam possíveis intervenções neste terreno, realizadas em períodos anteriores a 2002. Constatou-se, principalmente, a presença de recortes não naturais e de áreas com indícios de retirada de areia (Figura 55).

Figura 55: área de retirada de areia (A) e recortes antigos no solo (B), próximos à voçoroca V2, em 2002.



Fonte: Google Earth, 2019.

Estas intervenções, realizadas em períodos que antecedem as primeiras imagens de satélites disponíveis do local, podem ter dado origem ao surgimento da voçoroca V2 e demais erosões presentes no entorno, que hoje já se encontram estabilizados.

5.3.1.3 Dados Métricos das Voçorocas

A área e volume das voçorocas foram obtidos através dos ortomosaicos gerados por meio do software Drone Deploy e ferramentas de dimensionamento disponíveis no mesmo, na aba Tools, conforme Figura 56.

Figura 56: Aba Tools contendo as ferramentas de dimensionamento do software.



Fonte: (Drone Deploy, 2019)

5.3.1.3.1 Estimativa do Volume de Solo Erodido

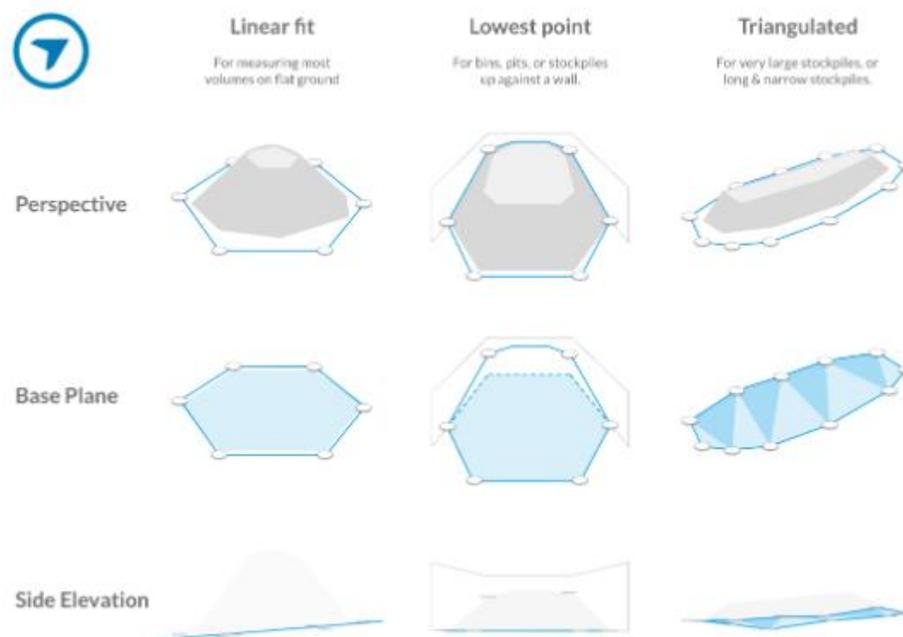
Para o cálculo do volume de solo erodido, bem como a área de erosão, foi necessário delimitar o perímetro das voçorocas. Os perímetros foram delimitados visualmente, com base nas feições identificáveis no ortomosaico e com auxílio do MDE gerado. Pressupôs que o limite das voçorocas é demarcado pela mudança abrupta entre as margens suavizadas externas e as encostas íngremes internas. Dessa forma, a declividade foi um fator chave na delimitação dos perímetros.

Após traçado o perímetro da área de interesse, volume e a área são calculados automaticamente. Para o cálculo do volume com uma aproximação mais real, é possível acionar um entre três algoritmos, que levam em consideração o plano de base onde o objeto de interesse está localizado, o que permitirá um cálculo volumétrico com maior compatibilidade e fidelidade (Figura 57). Estes algoritmos são (DRONE DEPLOY, 2019):

- 1) Linear Fit (Ajuste Linear): define o plano de base como um plano perfeitamente plano, em 3D, através dos pontos de borda escolhidos. É recomendado para cálculos de volume na maioria das situações.

- 2) Lowest Point (Ponto mais baixo): calcula um plano de base horizontal a partir do ponto de borda mais baixo. Essa opção é mais adequada para calcular o volume de pilhas de estocagem localizadas em terreno plano e que estejam coladas em paredes ou em outras pilhas.
- 3) Triangulated (Triangulado): une todos os pontos de borda para criar uma superfície 3D sob o objeto de interesse. É adequado para pilhas de estocagem longas e finas ou para pilhas de estocagem com mais de 0,5 hectare de tamanho.

Figura 57: Algoritmos para maior acurácia no cálculo de volumes.



Fonte: (DRONE DEPLOY, 2019).

O cálculo de volumes é comumente utilizado para o cálculo volumétrico de pilhas de estocagem. Entretanto, a ferramenta também pode ser aplicada para o cálculo de volumes em buracos ou orifícios presentes no solo (DRONE DEPLOY, 2019).

Para calcular o volume de solo presente em um buraco ou aplicar este recurso para o cálculo de solo erodido em uma voçoroca, o algoritmo mais adequado corresponde ao Linear Fit.

Este algoritmo interpola uma superfície de referência acima da cavidade da voçoroca, com base no relevo adjacente, considerando os pontos de borda do perímetro traçado. Considerou-se que a diferença entre a superfície de referência interpolada e a superfície da voçoroca, presente no MDS gerado, representa o volume de solo erodido, calculado pela ferramenta Volume, disponível no software Drone Deploy (DRONE DEPLOY, 2019).

O cálculo volumétrico realizado automaticamente pelo software é dado através de três variáveis, presentes na Equação 1:

$$V = \textit{Cut} - \textit{Fill} \text{ (Equação 1)}$$

Onde:

V: volume total da área delimitada;

Cut: volume que deve ser removido para planificar o terreno;

Fill: volume que deve ser preenchido para planificar o terreno;

Para o cálculo do volume de solo erodido em uma voçoroca, a leitura de *Fill* é a adequada, pois representa o volume de solo que deverá preencher toda a cavidade da voçoroca até a superfície de referencia interpolada.

De forma semelhante à realizada neste trabalho, Batista et al. (2015), em estudo de verificação da aplicabilidade do uso de imagens aéreas obtidas através de VANT, para cálculo do volume de solo erodido em um sulco, em Lavras, Minas Gerais, interpolou uma superfície de referencia acima do sulco estudado, com base no relevo adjacente.

O autor considerou que a diferença entre a superfície de referencia e o MDS gerado, correspondeu ao volume de solo erodido no sulco. Neste estudo, o volume de solo erodido foi calculado através da ferramenta Surface Difference, disponível no programa ArcGIS 10.1. Entretanto, o autor ressalta que a inexistência de levantamentos anteriores ao estabelecimento da erosão na área impossibilitaria o conhecimento da exata superfície original do terreno e consequentemente, o volume real de solo erodido.

De forma análoga, para conhecer o exato volume de solo erodido na voçoroca V1 e V2, seria necessário a reconstrução original da superfície da área de estudo. Assim, optou-se por buscar o valor estimado do volume de solo erodido, com base em uma superfície de referência interpolada no software Drone Deploy.

A voçoroca V1 apresentou um volume de solo erodido, estimado com base na superfície de referencia, de aproximadamente $68.195,5 \text{ m}^3$. Assim, foi caracterizada como muito grande, de acordo com a metodologia de Vieira e Albuquerque (2004). Já a voçoroca V2, apresentou um volume de solo erodido de aproximadamente $49.409,7 \text{ m}^3$, sendo caracterizada, também, como muito grande (Figura 58).

Figura 58: Volume da voçoroca V1 e V2.

Title		Title	
Volume V1	 	Volume V2	 
Area	1.516 ha	Area	0.708 ha
Cut	15724.8 m^3	Cut	842.5 m^3
Fill	-68195.5 m^3	Fill	-49409.7 m^3
Volume	-52470.7 m^3	Volume	-48567.2 m^3

Fonte: o Autor.

Vieira e Albuquerque (2004), ao realizarem um cadastramento de voçorocas próximas a BR -174, no trecho que liga a cidade de Manaus a Presidente Figueiredo, estudou o volume e a área de aproximadamente trinta voçorocas. Comparando os resultados de volume obtidos para a voçoroca V1 e V2, no Vale do Estrangulado, em Nova Lima, com os volumes encontrados para as voçorocas ao longo da BR-174, percebe-se grande semelhança no tange às ordens de grandeza, evidenciando coerência com os valores de encontrados através do software Drone Deploy.

Destaca-se a importância da alta resolução espacial presente nos ortomosaicos gerados a partir do uso do drone na caracterização das voçorocas V1 e V2. A resolução espacial permitiu caracterizar com maior exatidão a forma e o tamanho de cada voçoroca, uma vez que estas informações dependiam diretamente da precisão ao estabelecer as linhas de borda das erosões.

Um ponto muito importante, observado neste estudo, diz respeito à viabilidade temporal no monitoramento ambiental de processos erosivos com o uso de drone. Monitoramentos

ambientais necessitam ser realizados periodicamente e apresentar resultados em curto espaço de tempo, sobretudo quando são realizados visando avaliação de impactos ambientais. Neste aspecto, a utilização de VANT mostrou-se extremamente eficiente, pois permitiu a obtenção de dados para o dimensionamento das voçorocas V1 e V2, com alta precisão, em curto espaço de tempo.

É importante ressaltar, também, que estudos anteriores realizados no local por Vieira e Almeida (2018) relatam as difíceis condições de acesso das equipes nos arredores das voçorocas V1 e V2, devido às inclinações das vertentes e a presença de camadas superficiais de solos desprendidos, o que oferecia riscos de queda e ocasionava lentidão no desenvolvimento das atividades no terreno.

Com o uso do VANT, foi possível reproduzir, com alto grau de fidelidade, toda a área de estudo, em aproximadamente quarenta minutos de voo, sem que fosse necessário adentrar o local, garantindo comodidade, segurança e eficiência na coleta de dados da área de estudo.

5.4 Comparativo de Expansão

5.4.1 Área de Erosão

Com a finalidade de comparar quantitativamente a expansão da voçoroca V1 e V2 ao longo do tempo, fez-se uso das ferramentas de medição de área do Google Earth para delimitar as áreas das voçorocas em diferentes anos. Posteriormente, os resultados foram comparados com os valores das áreas apresentadas pelas voçorocas no período atual, obtidas através do software Drone Deploy e ortomosaico gerado. O resultado encontra-se na Tabela 6.

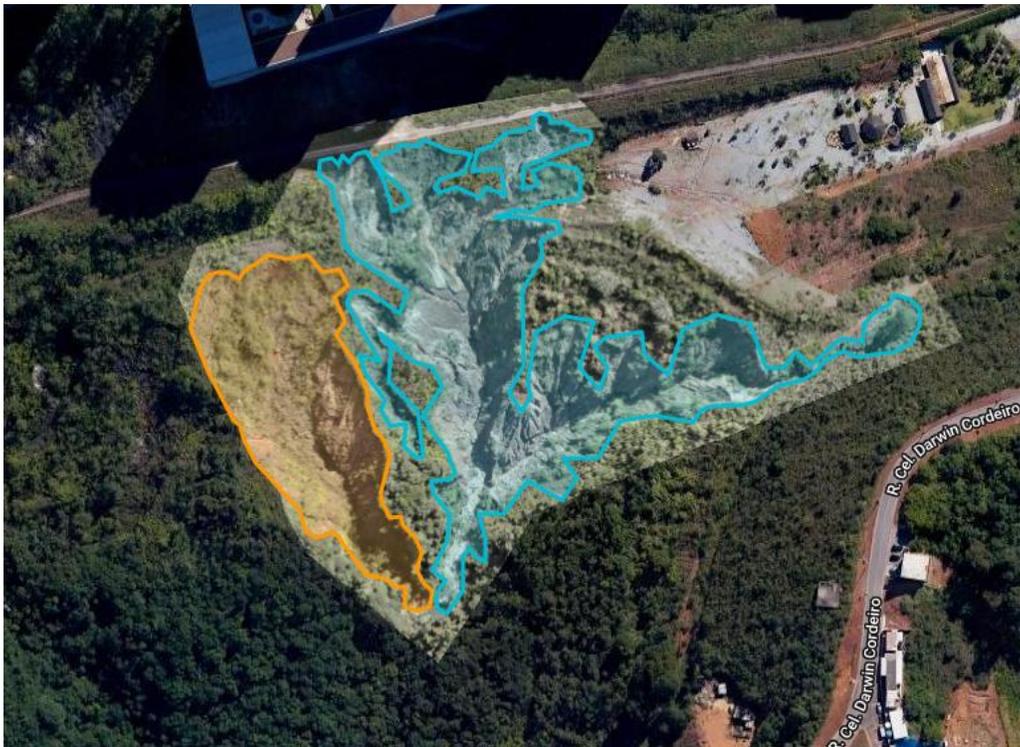
Tabela 6: Área em hectares das voçorocas V1 e V2 ao longo dos anos.

Ano	V1	V2
2002	-	0,490 ha.
2009	0,64 ha.	0,740 ha.
2019	1,516 ha.	0,708 ha.

Fonte: o Autor

As voçorocas V1 e V2 apresentaram áreas de 1,516 hectares e 0,708 hectares, respectivamente, como mostrado anteriormente. A delimitação das áreas das voçorocas V1 e V2 no software Drone Deploy está representada na Figura 59.

Figura 59: Delimitação das áreas das voçorocas V1 e V2.



Fonte: o Autor.

Em relação à Voçoroca V1, nota-se que em 2002, a primeira imagem disponível da série histórica do Google Earth, a voçoroca ainda não havia surgido. Desse modo, não foi apresentado nenhum valor para a área da voçoroca V1 em 2002, na Tabela 6. Entre 2002 e 2009, a voçoroca V1 apresentou uma expansão de aproximadamente 0,64 hectares em sua área erodida. Já entre 2009 e 2019, sua área sofreu um aumento de 2,37 vezes, atingindo 1,516 hectares. Nos últimos 10 anos, a voçoroca quase triplicou de tamanho (Figura 60).

Figura 60: Comparativo da evolução das áreas erodidas na voçoroca.



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019 e Drone Deploy.

Vieira e Almeida (2018), em trabalho realizado na voçoroca V1, no primeiro semestre de 2014, constataram uma expansão das linhas de borda da voçoroca à taxa de 0,17 m/mês naquele período. Desta forma, o crescimento em direção as construções civis ao redor da área de estudo poderiam impor às edificações situações de instabilidade e risco.

Através de medições sobre a imagem de satélite da voçoroca obtida do Google Earth, constatou-se sua área, em junho de 2014, era de aproximadamente 1,21 hectares. Utilizando essa informação e supondo que a voçoroca manteve a mesma média mensal de deslocamento das linhas de borda (0,17 m/mês), estimamos a sua área em abril de 2019. Para tanto, na falta de informações sobre a forma geométrica da voçoroca, tivemos que considerá-la circular.

Assim, a área da voçoroca em 2019 deveria ser dada pela a Equação 2:

$$Af = \pi(r + a)^2 \text{ (Equação 2)}$$

em que

$$r = \sqrt{(A/\pi)} \text{ (Equação 3)}$$

é o raio da voçoroca em junho de 2014, A é a área da voçoroca em junho de 2014 (estimada em 1,21 ha = 12.100 m²) e a é o acréscimo ao raio r ao final do período de 58 meses (junho de 2014 a abril de 2019).

Assim, considerando

$$A = 12.100,$$

$$r = \sqrt{(12.100/\pi)}$$

e

$$a = 0,17 \times 58$$

encontramos

$$Af = \pi(\sqrt{(12.100/\pi)} + (0,17 \times 58))^2 \approx 16.250,$$

ou seja,

$$Af = 16.250 \text{ m}^2 \text{ ou } 1,625 \text{ ha.}$$

Assim, estima-se que em abril de 2019, período em que a voçoroca V1 foi mapeada com o uso de drone, sua área deveria ser, segundo a taxa de expansão encontrada por Vieira e Almeida (2018), de aproximadamente 1,625 hectares.

Através do mapeamento com drone e medições aferidas no software Drone Deploy, no mês de abril de 2019, encontrou-se um resultado de 1,516 hectares de área para a voçoroca V1, como mencionado anteriormente. Comparando os dois resultados, tem-se uma diferença de aproximadamente 6,7%. Esta diferença sugere que a taxa média de expansão da voçoroca (0,17 m/mês) pode ter diminuído entre junho de 2014 e abril de 2019, mas mantendo-se, ainda, próxima ao valor encontrado por Vieira e Almeida (2018).

Em visita a campo, notou-se presença de desprendimento de porções de solo das bordas da voçoroca e acúmulo de solo úmido em seu interior, o que indica, atualmente, continuidade no processo de voçorocamento (Figura 61).

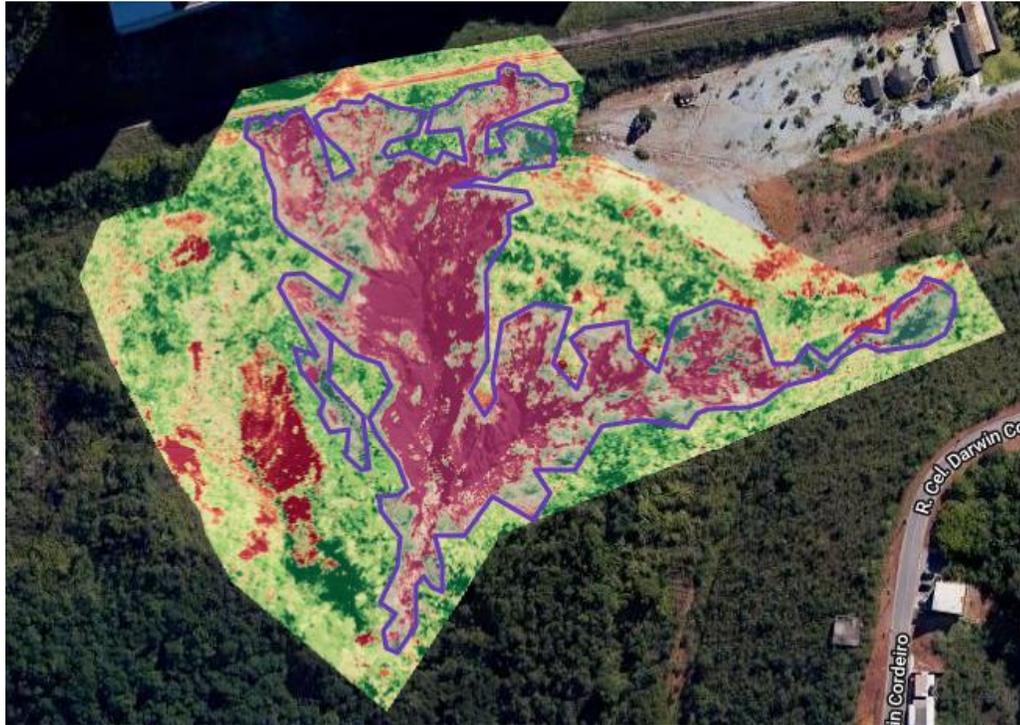
Figura 61: Desprendimento e acúmulo de solo no interior da voçoroca V1.



Fonte: o Autor.

Utilizando o Modelo de Plant Health, na área da voçoroca V1, é possível analisar visualmente a relação entre solo exposto (tons de vermelho) e vegetação (tons de verde) no interior da erosão. A voçoroca V1 apresenta uma maior porção de solo exposto se comparado com a porção de solo vegetado (Figura 62).

Figura 62: Relação de solo exposto e vegetação na voçoroca V1.



Fonte: o Autor.

O aumento da área da voçoroca constatado ao longo dos anos, somado aos desprendimentos de solo verificados in loco, a baixa porcentagem de vegetação presente no interior da voçoroca e grande presença de solo exposto em seu interior, indicam que V1 ainda está passando por um processo de erosão do solo mais intenso e progressivo.

Em relação à voçoroca V2, nota-se que entre 2002 e 2009, ela apresentou grande expansão de sua área erodida, partindo de uma área de aproximadamente 0,490 hectares para uma área de aproximadamente 0,740 hectares (Figura 63).

Figura 63: Comparativo da evolução das áreas erodidas na voçoroca V2



Fonte: Adaptado do Google Earth, 2019 e Drone Deploy.

Não é possível que a área de uma voçoroca sofra regressão, ao longo do tempo, a não ser que seja realizada uma obra de recuperação da estrutura erodida. Não foi constatado em campo e através da série histórica do Google Earth, que a voçoroca V2 tenha sofrido algum processo de recuperação.

Porém, entre 2009 e 2019, apesar de não ter sido constatado visualmente grande variações ou modificações em sua estrutura, houve uma leve queda nos valores das áreas encontradas para a voçoroca V2, o que pode ser atribuído a alguns aspectos, como: erro humano na fotointerpretação; uso de tecnologia de satélite ultrapassada para o presente momento, resultando em uma má qualidade das imagens de satélite disponíveis na série histórica do Google Earth se comparada com imagens atuais e, por último, o surgimento de presença vegetal ao longo do tempo, no interior da voçoroca V2, dificultando a delimitação das bordas através de fotointerpretação.

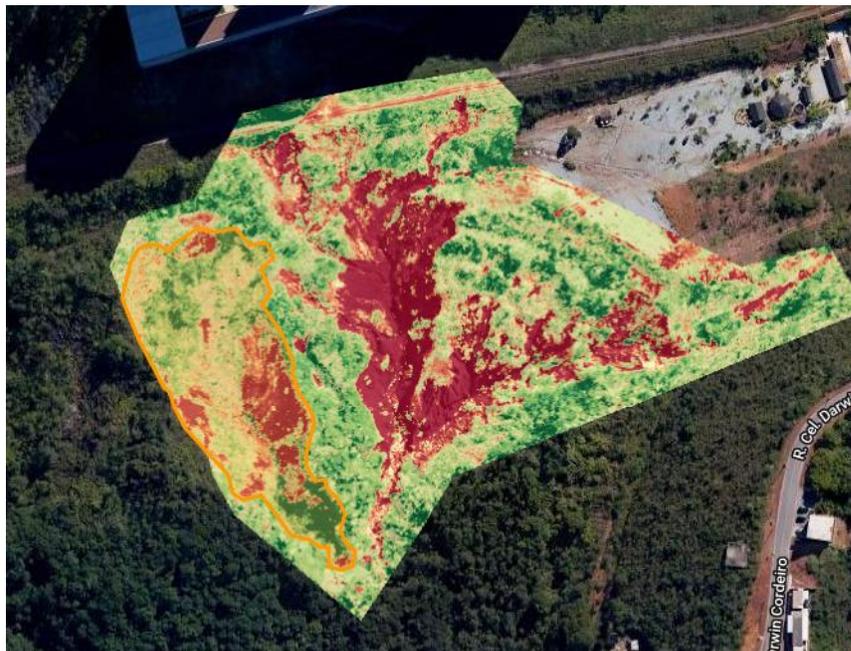
É necessário levar em conta, também, o uso de diferentes softwares para realizar a medição comparativa entre as áreas da voçoroca. Diferentes softwares (diferentes algoritmos) podem resultar em grandes diferenças no resultado das áreas encontradas, considerando um mesmo objeto de estudo ao longo dos anos.

Assim, o uso de diferentes tecnologias pode ter sido um dos principais motivos que contribuíram para que a voçoroca V2, em 2019, utilizando uma tecnologia mais recente (Drone e Software Drone Deploy), obtivesse uma área menor do que aquela imageada em 2009, através de uma tecnologia de satélite mais antiga (Google Earth) e que reflete diretamente na qualidade da imagem.

Entretanto, notou-se uma diferença de apenas 0,032 hectares (320 m²), entre as imagens de 2009 e as imagens de 2019, mostrando um erro relativamente baixo (0,045%) ao se comparar os valores das duas áreas.

Utilizando o Modelo de Plant Health, na área da voçoroca V2, é possível analisar visualmente a relação entre solo exposto (tons de vermelho) e vegetação (tons de verde) no interior da erosão (Figura 64).

Figura 64: Relação de solo exposto e vegetação na voçoroca V2.



Fonte: o autor.

A voçoroca V2 apresentou uma maior porção de solo revegetado se comparado com a porção de solo exposto. É possível notar que a cabeceira da voçoroca, bem como sua porção final e grande parte de sua lateral direita, estão recoberto por vegetação. Apenas uma porção da parte lateral esquerda e pequenos focos em seu interior, possuem solo exposto.

A presença de vegetação crescente ao longo dos anos, na cabeceira e porção esquerda do interior da voçoroca, poderia indicar que ela estaria passando por um possível processo de estabilização. Assim, faz-se necessário aferições futuras para comprar esta possibilidade (Figura 65).

Figura 65: Vegetação na cabeceira e lateral da voçoroca V2 no cenário atual.



Fonte: o Autor

Entretanto, é importante salientar que as voçorocas V1 e V2 apresentam grande proximidade entre elas ao longo de toda a sua extensão, estando separadas somente por uma coluna de solo que ainda permanece em processo de erosão. Devido ao processo de expansão da voçoroca V1, é possível que esta coluna possa ser erodida até que as duas voçorocas se conectem futuramente, formando uma única estrutura.

6 CONCLUSÃO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar a aplicabilidade de veículos aéreos não tripulados (VANTs) no monitoramento de processos erosivos.

Através do mapeamento com o drone e utilização do software Drone Deploy, foi possível a geração de ortomosaicos e modelos digitais de superfície, referentes à área de estudo e às voçorocas estudadas, com resoluções espaciais de 3,8 cm/pixel e 2 cm/pixel, respectivamente. As resoluções espaciais obtidas foram satisfatórias.

Foi possível adquirir informações de alta precisão para o dimensionamento das erosões. Constatou-se que a voçoroca V1 apresentou uma área de 15.160 m² e uma estimativa no volume de solo erodido de aproximadamente 68.195,5 m³. Já a voçoroca V2, apresentou uma área de 7.080 m² e uma estimativa no volume de solo erodido de aproximadamente 48.409,7 m³.

Por meio do uso de drone, constatou-se viabilidade temporal no monitoramento ambiental de processos erosivos, maior comodidade, segurança e eficiência na obtenção de informações da área de estudo, além de possibilitar grande precisão para a caracterização da forma e o tamanho de cada voçoroca. Foi possível, também, obter informações em relação à presença de cobertura vegetal e solo exposto no interior das voçorocas.

As limitações para a aplicação do uso de VANT no monitoramento de processos erosivos estão relacionadas, principalmente, ao preço dos softwares de mapeamento e a legislação. Devido à falta de concorrência dos softwares de mapeamento aéreo, os preços das assinaturas tornam-se exorbitantes, deixando usuário reféns de altos preços. Com a popularização dos VANTs, a tendência é que os preços dos softwares sofram mudanças, tornando-se mais acessíveis. A versão de teste gratuita do software Drone Deploy, apesar de limitações internas, mostrou-se eficiente.

No que diz respeito à legislação referente aos VANT's, o cenário atual é pouco expressivo e desenvolvido, havendo poucas leis que abrangem o uso desta tecnologia em território nacional. Com a popularização da tecnologia, a tendência é que a legislação se torne cada vez mais restritiva.

Futuramente, será possível realizar comparações melhores em relação ao desenvolvimento dos processos erosivos presentes no Vale do Estrangulado, uma vez que a aplicação de drones para esta finalidade mostrou-se bastante promissora e viável, possibilitando monitoramentos periódicos das voçorocas V1 e V2.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de ser possível realizar estudos semelhantes a este utilizando somente imagens de satélites disponíveis na internet ou mesmo, encomendadas, optou-se pelo uso do drone de baixo custo, uma vez que este equipamento apresenta maior agilidade para obtenção de informações em áreas de interesse relativamente menores e maior resolução espacial, importante no estudo proposto.

O uso de drone possibilitou uma visualização mais detalhada e extração mais acurada de informações da área de estudo; melhor custo benefício ao se comparar o preço do VANT ao preço de imagens de satélite encomendadas; maior simplicidade ao lidar com os softwares de processamento de imagens e, por fim, maior flexibilidade em relação a condições adversas da atmosfera.

8 BIBLIOGRAFIA

AGENCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (Brasil). **Drones**. Disponível em: <<https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/drones>>. Acesso em: 17 out. 2018.

ALBERTE, E. P. V., Carneiro, A. P., & Kan, L. **Recuperação de áreas degradadas por disposição de resíduos sólidos urbanos**. Diálogos & Ciência–Revista Eletrônica da Faculdade de Tecnologia e Ciências de Feira de Santana. Ano III, Feira de Santana, 1-15 p., 2005.

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY (ASP). **Manual of Photogrammetry**. 1966, 1220p.

ANGELIS Neto, G.; Angelis, B. L. D. De; Oliveira, D. S. de. **O uso da vegetação na recuperação de áreas urbanas degradadas**. *Acta Scientiarum* (Maringá), v. 26, n. 1, p. 65-73, 2004.

ANAC – Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC). **Instrução Suplementar - IS nº 21-002**. Emissão de Certificado de Autorização de Voo Experimental para Veículos Aéreos Não Tripulados, 4 de outubro de 2012.

ANGELIS NETO, G.; Angelis, B. L. D. De; Oliveira, D. S. de. **O uso da vegetação na recuperação de áreas urbanas degradadas**. *Acta Scientiarum* (Maringá), v. 26, n. 1, p. 65-73, 2004.

ANDRADE, Liza Maria Souza de; Romero, Marta Adriana Bustos. **A Importância Das Áreas Ambientalmente Protegidas Nas Cidades**. In: Xi Encontro Nacional Da Associação Nacional De Pós-Graduação E Pesquisa Em Planejamento Urbano E Regional - ANPUR, 2005, Salvador, Bahia. A Importância Das Áreas Ambientalmente Protegidas Nas Cidades, 2005. p. 1-21. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228702287_A_importancia_das_areas_ambientalmente_protegidas_nas_cidades>. Acesso em: 23 nov. 2018.

ANDERSON, P. S. **Fundamentos para Fotointerpretação**. Rio de Janeiro : SBC, 1982. Disponível em <<http://www.drtilud.com/nml-resources/Fundamentos-Para-Fotointerpretacao.pdf>>. Acesso em 23 nov. 2018.

BARNETT, A. P. **How intense rainfall affects runoff and soil erosion**. Agric. Engng, St Joseph, Mich. 39:703-707, 711, 1958.

BARTH, R. C. 1989. **Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil**. Viçosa, MG: SIF, 1989. 41 p. (Boletim técnico, 1).

BASTOS, C. A. B. **Estudo geotécnico sobre a erodibilidade de solos residuais não saturados**. 1999. 251f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

BERTONI, José. **O Espaçamento Dos Terraços Em Culturas Anuais, Determianodo Em Função Das Perdas Por Erosão**. Bragantia: Boletim Científico do Instituto Agronomico do Estado de São Paulo, São Paulo, v. 18, n. 10, p. 113-140, out. 1959. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v18nunico/10.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

BIGARELLA, João José ; MAZUCHOWSKI, Jorge Zbigniew. **Visão Integrada da problemática da erosão**. Maringá: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1985.

BRASIL. **Lei n.º 9.985, de 18 de julho de 2000**. Regulamenta o Art.225, §1.º, incisos I, II, III e VII da **Constituição Federal de 1988**, instituindo o **Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza** e determina outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/LEIS/L9985.htm/>. Acesso em: 23 nov. 2018.

BRASIL. Leis e Decretos. *Lei Federal nº 12.651, de 25 de maio de 2012*. Institui o Novo **Código Florestal Brasileiro**. Brasília: 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm >. Acesso em 23 nov. 2018

BRASIL. DECEA n. nº 282, de 22 de dez. de 2016. ICA 100-40. **Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro**. Ministério da Defesa. 2ª Edição. ed. Brasil, p. 1-55, dez. 2016. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.gov.br/?i=publicacao&id=4510>>. Acesso em: 17 out. 2018.

BRASIL. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E n. nº 94, de 02 de maio de 2017. **Requisitos Gerais para aeronaves não Tripuladas de Uso Civil**. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial. ANAC. 1ª Edição. ed. Brasil, v. 1, p. 1-26, maio. 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94-emd-00/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

BRANDÃO, Maurício Pazini ET AL. UAV activities in Brazil. **First Latin-American UAV Conference**. Panama, 2007. Disponível em:

BRAGA, R. **Instrumentos para a gestão ambiental e de recursos hídricos**. Ed Universitária UFPE, Recife, 2009.

BURYLO, M.; Hudek, C.; Rey, F. **Soil reinforcement by the roots of six dominant species on eroded mountainous marly slopes (Southern Alps, France)**. *Catena*, v. 84, n. 1, p. 70-78, 2011.

CAMAPUM De Carvalho, J.; Sales, M. M.; Mortari, D.; Fácio, J. A.; Motta, N.; Francisco, R. A. Processos erosivos. In: Camapum de Carvalho, J.; Sales, M. M.; Souza, N. M.; Melo, M. T. S. (Org.). *Processos erosivos no Centro-Oeste brasileiro*. Brasília: Finatec, 2006. p. 39-91.

CÂNDIDO, Anny Keli Aparecida Alves et al. **Modelo Digital de Superfície gerado a partir de imagens de VANT**. In: 5º **simpósio de geotecnologias no pantanal**, 2016, Campo Grande. Embrapa Informática Agropecuária/INPE... [S.l.: s.n.], 2014. p. 296-303. Disponível em: <<https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p48.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

CAPILLERI, P. P.; Motta, E.; Raciti, E. **Experimental study on native plant root tensile strength for slope stabilization**. *Procedia Engineering*, v. 158, p. 116-121, 2016.

COELHO, A. T.; Pereira, A. R. **Efeitos da vegetação na estabilidade de taludes e encostas**. Belo Horizonte, FAPI Ltda., 20 p., 2016.

CORRÊA, I.C.S., **Topografia aplicada à Engenharia Civil. Departamento de Geodésia, Instituto de Geociências, UFRGS. Porto Alegre-RS. 124p. 2006**

CRUZ, C. B. M., Barros, R. S., and Rabaco, L. M. L. 2012. **“Planialtimetric Accuracy Evaluation of Digital Surface Model (DSM) and Digital Terrain Model (DTM) Obtained from Aerial Survey with LIDAR.”** ISPRS - International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences XXXIX-B1 (1). Copernicus Publications: 45–48. Disponível em: <<https://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-inf-sci.net/XXXIX-B1/45/2012/isprsarchives-XXXIX-B1-45-2012.pdf>> . Acesso em 23 nov. 2018.

DABNEY, S.M.; Gumiere, S.J. **Erosion by water: vegetation control.** In: Jorgensen, S.E. **Encyclopedia of Environmental Management**, Taylor & Francis, New York, 2013.

DE ANDRADE, Aluísio Granato; portocarrero, Hugo; capeche, Claudio Lucas. **Práticas Mecânicas e Vegetativas para Controle de Voçorocas.** Rio de Janeiro, RJ: EMBRAPA, 2005. 4 p. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/15429561.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

DIAGNÓSTICO, **Tratamento e Recuperação Ambiental.**- Ciências Ambientais, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Sorocaba, 2018. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/153396/solera_ml_dr_soro.pdf?sequence=3&isAllowed=y>. Acesso em: 21 nov. 2018.

DISPERATI, A. A. **Obtenção e uso de fotografias aéreas de pequeno formato.**Curitiba: UFPR, FUPEF, 1991. Disponível em:

<https://www.researchgate.net/profile/Hugo_Zerda/publication/303784976_Fundamentos_de_Fotointerpretacao/links/5751c93a08ae02ac1277abea/Fundamentos-de-Fotointerpretacao.pdf?origin=publication_detail>. Acesso em: 21 Nov. 2018.

DJI. **Manual do usuário do Mavic Air**. 1ª Edição. 2018. 58 p. v. 1.2. Disponível em:<<https://dl.djicdn.com/downloads/Mavic%20Air/Mavic%20Air%20User%20Manual%20v1.0.pdf>>. Acesso em: 17 set. 2018.

DRONE Deploy. Maio 2019. Disponível em: <https://www.dronedeploy.com/>. Acesso em: 2 maio 2019.

DOS SANTOS, Luana Maria. **Erosão em taludes de corte – Métodos de proteção e estabilização**. 2015. 75 p. monografia (Engenharia Civil)- Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratingueta, 2015. Disponível em: <<https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/124253/000819172.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 17 out. 2018.

DURLO, M. A.; Sutili, F. J. **Bioengenharia: manejo biotécnico de cursos de água**. Porto Alegre: EST Edições, 2005. 198 p.

EISENBEIß, Henri. **UAV Photogrammetry**. 2009. 237 p. Dissertação (degree of Doctor of Sciences) - University of Technology Dresden, Suíça, 2009. 1. Disponível em: <http://www.igp-data.ethz.ch/berichte/Blaue_Berichte_PDF/105.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

EMBRAPA. **Monitoramento Ambiental**, 2007. Disponível em < http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_73_711200516719.html> Acesso em: 21 nov 2018.

ENGESAT. Geoeye. 2019. Disponível em: <http://www.engesat.com.br/imagem-de-satelite/geoeye/>. Acesso em: 7 jun. 2019.

EUBANKS, C. E.; Meadows, D. **A soil bioengineering guide: for streambank and lakeshore stabilization**. Washington: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program, [2002].

EUBANKS, C. E.; Meadows, D. **A soil bioengineering guide: for streambank and lakeshore stabilization**. Washington: U.S. Department of Agriculture Forest Service, Technology and Development Program, [2002].

EVETTE, A.; Labonne, S.; Rey, F.; Liebault, F.; Jancke, O.; Girel, J. **History of bioengineering techniques for erosion control in rivers in Western Europe**. Environmental Management, v. 43, n. 6, p. 972-984, June 2009.

FAO, 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Status of the World's Soil Resources. Capítulo 6: Global status, processes and trends in soil erosion**. Roma, Itália. Acesso em 19 de nov Disponível em < <http://www.fao.org/documents/card/en/c/88ead726-9eed-4f79-8759-15a6e7c65f8b>>. Acesso em 19 nov. 2018

FARIA, R. R De; Costa, M. E. A inserção dos Veículos Aéreos Não Tripuláveis (drones)

como tecnologia de monitoramento no combate ao dano ambiental. **Revista Ordem Pública**, v. 8, n. 1, jan./jul. 2015. Acesso em: 16 out. 2018.

FERREIRA, V.M.; Silva, M.L.N.; Curi, N.; Oliveira, A.H.; Silva, M.A.; Avanzi, J.C. **Influência antrópica e atributos de solo: inter-relações em ambientes de voçorocas na mesorregião Campo das Vertentes, MG**. Geografia (Rio Claro), 36: 209-219, 2011.

FERREIRA, Rogerio Resende Martins. **Recuperação de voçorocas de grande porte**. 2015. 30 p. Artigo em anais de congresso (CPAF-AC) (n)- n, Acre, 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1025952>>. Acesso em: 19 nov. 2018

FIGUEIRA, N. M.; Oliveira, L. C. De. **Super-resolução: técnicas existentes e possibilidade de emprego às imagens do vant vt-15**. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, v. 30, p. 3-19, 2013. http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_2_tri_2013/RMCT_095_D_12.pdf

FRANCELINO, Márcio Rocha et al. **Fotografias aéreas não-convencionais: uma alternativa de monitoramento ambiental na antártica marítima.**, p. 1-4, jan. 2003. Disponível em: <<http://mail.dna.gov.ar/CIENCIA/SANTAR04/CD/PDF/104GO.PDF>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

FULLEN, M.A., Booth, C.A., **Grass ley set-aside and soil organic matter dynamics on sandy soil in Shopshire, UK**, Earth Surf, The Journal of the British Geomorphological Research Group, v. 31, n. 5, 570-578 p., 2006.

GALVÃO, T. C. D. B.; Pereira, A. R.; Parizzi, M. G.; Silva, H. A. **Bioengineering techniques associated with soil nailing applied to slope stabilization and erosion control.** *Natural Hazards Review*, v. 11, n. 2, p. 43-48, 2010.

GONÇALVES, G. A. **Detecção automática de alterações na Cartografia cadastral com base em imagens de câmeras digitais.** Curitiba. 284f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006. Acesso em: 17 set. 2018.

GOMES, L. G. N. **A bioengenharia como ferramenta para restauração ambiental das margens do rio São Francisco.** 2005. 134 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, Aracaju, 2005.

GORBUSHUNA, A.A., Kort, R., Schulte, A., Lazarus, D., Schneteger, B., Brumsack, H.-J. Broughton, W.J. & Favet. J. 2007. **Life in Darwin's dust: Intercontinental transport and survival of microbes in the nineteenth century.** *Environmental Microbiology*. Disponível em <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1462-2920.2007.01461.x>>. Acesso em 19 nov. 2018.

GRAY, D. H.; Sotir, R. B. **Biotechnical and soil bioengineering slope stabilization: a practical guide for erosion control.** New York: John Wiley & Sons, 1996. 337 p.

GUERRA, Antonio José Teixeira. **Processos erosivos nas encostas.** In: Guerra, Antonio José Teixeira; Cunha, Sandra Baptista da. (Orgs.) **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos.** 3 ed. Rio de Naeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.149-209. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2010/XI-022.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

GUERRA, A. J. T.; Botelho, R. G. M. **Erosão dos solos**. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1995.p. 149-209.

GUIMARÃES, B. B.; Guimarães, R. B.; Leal, A. C. **Código Florestal brasileiro: análise do conceito de Área de Preservação Permanente e sua aplicação na bacia hidrográfica do Córrego São Pedro-Anhumas, São Paulo**. *Boletim Campineiro de Geografia*, v. 5, n. 1, p. 157-173, 2015. Disponível em <<http://agbcampinas.com.br/bcg/index.php/boletim-campineiro/article/view/192/127>>.

HOLANDA, F. S. R.; Rocha, I. P.; Oliveira, V. S. **Estabilização de taludes marginais com técnicas de bioengenharia de solos no Baixo São Francisco**. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 12, n. 6, p. 570-575, 2008.

INDERBITZEN, A.L. **An erosion tests for soils. Material reseach and standarts**. Philadelphia, v. 1, n. 7, p. 553-554, 1 july. 1961.

INSTITUTO DE AERONÁUTICA E ESPAÇO. **DPA-VANT**, São José dos Campos, 2010, Disponível em <<http://www.iae.cta.br/index.php/aeronautica/dpa-vant>>. Acesso em: 07 nov. 2018.

ISIOYE, A. O.; Jobin, P. **An Assessment of Digital Elevation Models (DEMs) From Different Spatial Data Sources**. *Asian Journal of Engineering, Sciences & Technology*, v. 2, n. 1, 2012. <https://www.researchgate.net/publication/311713966_AN_ASSESSMENT_OF_DIGITAL_ELEVATION_MODELS_DEMs_FROM_DIFFERENT_SPATIAL_DATA_SOURCES>.

JARDIM, Alexandre Maniçoba da Rosa Ferraz et al. **Estimativas de perda de solo por erosão hídrica para o município de Serra Talhada, PE.**Journal of Environmental Analysis and Progress, Serra Talhada, v. 02, n. 03, p. 186-193, jul. 2017. Disponível em: <<http://www.ufrpe.br/jeap>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

KLINGEBIEL, A. A. & Stauffer, R. S. **Effect of contour farming on soil and surface water losses, plant nutrient losses and tile drainage.** In: ILLINOIS. Soil and Water Management Research Station. Annual progress report, 1952. Urbana, s.d. p.4-12.

LEITE, M.E.; Leite, M.R. & Clemente, C.M.S. 2010. **O uso do solo e o conflito por água no alto rio Riachão – norte de minas gerais: uma análise Auxiliada pelas geotecnologias.** **Revista Geográfica Acadêmica**, 4(1): 46 – 55. Acesso em: 17 set. 2018.

LEWIS, L. **Soil Bioengineering an Alternative for Menagement: a practical guide.** San Dimas, California. United States Departamento f Agriculture, 2000. p. 06.

LI, Zhilin; Zhu, Qing; Gold, Christopher. **Digital terrain modeling: Principles and Methodology.** 1. ed. Forida: CRC Press, 2005. 324 p. Disponível em: <https://nguyenduylieimgis.files.wordpress.com/2014/11/digital-terrain-modeling-principles-and-methodology_2005.pdf>. Acesso em: 25 nov. 2018.

LONGHITANO, George Alfredo. **VANTS para sensoriamento remoto: aplicabilidade na avaliação e monitoramento de impactos ambientais causados por acidentes com cargas perigosas.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica,

Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. doi:10.11606/D.3.2010. tde-10012011-105505.

Acesso em: 17 set. 2018.

LOPES, Daniel Victor da Silva et al. **Áreas de proteção ambiental (apa) de conservação da bacia do Celmm**. Caderno FITS de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas (CaFiGE), Alagoas, v. v. 4, n. n. 2, p. 73-88, nov. 2017. Disponível em: <<http://periodicos.set.edu.br>>.

Acesso em: 23 nov. 2018.

MARQUES, R. **A degradação do solo por meio da erosão: principais agentes condicionantes e impactos socioambientais causados por voçorocas no lago do Zé Açú, Parintins-AM**, Trabalho de Conclusão de Curso, 2017.

MARIANI, P. P.. **Produção e aplicação de biomantas para controle de erosão em taludes**, Dissertação de Mestrado, 2016.

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: 17 set. 2018.

MORGAN, J.L.; Gergel, S.E. & Coops, N.C. 2010. **Aerial photography: a rapidly evolving tool for ecological management**. BioScience, 60(1): 47-59. Acesso em: 17 set. 2018.

MORGAN, R. P. C.; Rickson, R. J. **Slope stabilization and erosion control: a bioengineering approach**, Silsoe College, Cranfield University, UK. London: Chapman e Hall, 274 p., 1995.

NERI, A. C.; Sánchez, L. E. **Guia de boas práticas de recuperação ambiental em pedreiras e minas de calcário**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2012.

NETO, Francisco Lombardi; Pastana, Francisco Ignacio. **Relação Chuva-Perdas Por Erosão**. Bragantia: Boletim Científico do Instituto Agronomico do Estado de São Paulo, São Paulo, v. 31, n. 19, p. 229-234, jul. 1972. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/brag/v31nunico/19.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2018.

OLIVEIRA, M. A. T. de. **Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas**. In: Guerra, A. J. T.; Silva, A. S.; Botelho, R. G. M (Org.). *Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1999. p. 57-94.

NEVES, P. F.; Sousa, M. R.; Oliveira, J. **Influência da cobertura vegetal na resistência ao escorrimento de taludes**, Universidade Técnica de Lisboa, 2006.

OLIVEIRA, F. A. **Seminário Internacional de VANT**, Centro Técnico Aeroespacial, São José dos Campos, 2005.

OLIVEIRA, F. A. **Projeto Vant histórico e Situação atual**. 2 workshop de nanotecnologia aeroespacial, São José dos Campos, 2006.

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/88ead726-9eed-4f79-8759-15a6e7c65f8b/>>. Acesso em: 17 set. 2018.

PAULA V. M. G. **Bqm-1br O Vant à jato brasileiro**, Centro de Pesquisas Estratégicas Paulino Soares de Sousa, UFJF, 2009. Acesso em: 17 set. 2018.

PAINE, D. P.; Kiser, J. D. Aerial photograpy and image interpretation. 2. ed. New Jersey - Usa: Wilei, 2003.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NOVA LIMA. Processo **de Revisão do Plano Diretor Municipal: relatório de conhecimento prévio de área urbana**. Nova Lima, 2014. Disponível em: <http://www.novalima.mg.gov.br/>. Acesso em: 2 maio 2019

PROGRAMA DE GESTÃO DE RISCOS E RESPOSTA A DESASTRES NATURAIS. (Minas Gerais). **Carta de Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa e Inundações: Município de Nova Lima - MG**. 2ª Edição. ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2014. 1 p. v. 1. Disponível em: <<http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/14945?show=full>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

Projeto APA Sul **RMBH: estudos do meio físico, hidrologia**, Elizabeth Guelman Davis, Eber José de Andrade Pinto, Magda Cristina Ferreira Pinto- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: estudos do meio físico, pedologia**, Edgar Shinzato, Amaury de Carvalho Filho. Belo Horizonte: CPRM/EMBRAPA/SEMAD, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: estudos do meio físico, uso e disponibilidade dos recursos hídricos**, Elizabeth Guelman Davis, Eber José de Andrade Pinto, Décio Antônio Chaves Beato - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: geologia, mapa geológico**, escala 1:50.000 em 3 partes. Sérgio L.da Silva (Org.), Eduardo A. Monteiro, Orivaldo F. Baltazar, Márcia Zucchetti - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: geomorfologia, mapa geomorfológico**, escala 1:50.000 em 3 partes. Antônio I. Medina, Marcelo E. Dantas, Allaoua Saadi.- Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: geotecnia, mapas geotécnicos**, escala 1:50.000. Jorge Pimentel, Cornélio Zampier Teixeira, Fábio M. Silva, - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: hidrogeologia, mapa hidrogeológico**, escala 1:50.000 em 3 partes. Décio Antônio C. Beato, André Luiz M. Monsores, Antônio Carlos Bertachinni - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

Projeto APA Sul **RMBH: uso e cobertura da terra, mapas cobertura e uso da terra**, escala 1:50.000, Graziela da S. Rocha Oliveira, Patrícia D. Jacques, Edgar Shinzato - Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005.

PRUSKI, Fernando Falco. **Conservação do solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa: ED. UFV, 2009. 279p.

PUSCOV, J. Flight System Implementation in UAV. **Examensarbete utfört vid Fysikinstitutionen, KTH, SCFAB Sommaren-Hösten**, 2002. Disponível em: <<https://www.scribd.com/document/60026165/004-Fligh-System-Implementation-in-a-UAV> > Acesso em: 1 nov. 2018

QUACKENBUCH, Jr., R. **Development of photo interpretation. In: Manual of photographic interpretation. Washington**. DC. American Society of Photogrammetry, cap 1, p. 1-18, 1960.

RODRIGUES, A. A. **Uso de Veículo Aéreo Não Tripulado Para Mapeamento e Avaliação de Erosão 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: 17 set. 2018

SANTOS, Afonso de Paula dos et al. **Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície Com o Uso de Feições Lineares**. BCG - Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 22, n. 1, p. 157-174, fev. 2016. Disponível em: <<http://www.redalyc.org/pdf/3939/393944757009.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SALVADOR, Paulo Guilherme. **Construção de Terraços para Controle da Erosão Pluvial no Estado do Acre**. Rio Branco, AC: Embrapa Acre, 2003. 44p. (Embrapa Acre. Documentos, 85). Disponível em <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/501671/1/doc85.pdf>>. Acesso em 19 nov. 2018.

SALGADO, Carla Maciel *et al.* **Análise Espaço-temporal da Erosão Linear no Médio-baixo Vale do Ribeirão do Secretário** (Paty do Alferes/RJ). Revista Brasileira de Geomorfologia , [S. l.], 2008. Disponível em: file:///C:/Users/Rafael/Downloads/Analise_Espaco-Temporal_da_Erosao_Linear_no_Medio-.pdf. Acesso em: 2 maio 2019.

SAULI, G, Cornelini, P, Preti, F. **Manual de Engenharia Natural**. V.3. Sistemazione dei versanti. Regione Lazio. Roma. 2005.

SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS. (Prefeitura de Belo Horizonte). **Diagnóstico – Situação Atual e Tendências da Dinâmica Urbana: Plano Diretor da Região Oeste**. 1ª Edição. ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2013. 594 p. v. 1. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/politica-urbana/planejamento-urbano/plano-diretor/regionais>>. Acesso em: 17 set. 2018.

SECRETARIA MUNICIPAL DE DESENVOLVIMENTO. (Minas Gerais). **Planos Diretores regionais: Região Oeste**. 1ª Edição. Belo Horizonte: [s.n.], 2012. 37 p. v. 1. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/sites/default/files/estrutura-de-governo/politica-urbana/2018/planejamento-urbano/apresentacao_sintese_pdr_oeste.pdf>. Acesso em: 17 set. 2018.

SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS. (Minas Gerais). **Plano Municipal de Saneamento: Limites das Bacias Elementares e Sub-bacias**. 1ª ed. Belo Horizonte: [s.n.], 2008. 1 p. v. 1. Disponível em: <<https://prefeitura.pbh.gov.br/obras-e-infraestrutura/informacoes/publicacoes/plano-de-saneamento>>. Acesso em: 17 set. 2018.

SILVA, Tayanne Graciette Nascimento et al. **diagnóstico ambiental de uma área de proteção permanente (app), formoso do araguaia – TO**. Revista da Universidade Vale do Rio Verde, V.16, n. n. 2, p. 1-10, dez. 2018. Disponível em: <http://periodicos.unincor.br/index.php/revistaunincor/article/view/4619/pdf_813>. Acesso em: 23 nov. 2018.

SILVA, A. GS B. et al. **Influência da declividade do solo nos processos erosivo na microbacia córrego Santo Inácio – Mg**. In: Congresso Mineiro de Engenharias e Arquitetura-CENAR. 2016.

SIMÕES, D. **Modelação Espacial da Erosão Hídrica do Solo Aplicação da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS)**, Dissertação de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica em Recursos Agro-Florestais e Ambientais, Especialização em Análise de Informação Geográfica., 74 p., 2013

SOLERA, Maria Lúcia. **Desenvolvimento e avaliação de modelos estruturais de bioengenharia de solos para revegetar talude de pilha de estéril na mineração a céu aberto**. 97 p. 2018.

SOUZA, Caroline Almeida et al. **Bioengenharia de solos: aplicabilidade na recuperação de áreas mineradas e na oferta de serviços ambientais**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, n. 34, p. 46-59, dez. 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303988303_Bioengenharia_de_solos_aplicabilidade_na_recuperacao_de_areas_mineradas_e_na_oferta_de_servicos_ambientais>. Acesso em: 21 nov. 2018.

SPOHR, Renato Beppler. **Fotogrametria e Fotointerpretação**. Frederico Westphalen: [s.n.], 2009. 21 p. Disponível em: <<https://www.scribd.com/document/290649339/Principios-Fotogrametria-e-Fotointerpretacao>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

SSSA. 2008. **Glossary of Soil Science Terms**. Madison, WI, Soil Science Society of America.

STOUT, J.E., Warren, A. & Gill, T.E. 2009. **Publication trends in aeolian research: An analysis of the Bibliography of Aeolian Research**. *Geomorphology*, 105: 6–17. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.562.1891&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em 19 nov. 2018

TABALIPA , Ney Lyzandro ; FIORI, Alberto Pio. **Influência da Vegetação na Estabilidade de Taludes na Bacia do Rio Negro (PR)**. *In: Geociências*, 2008, UNESP. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7069/6514>. Acesso em: 7 jun. 2019.

TAVARES, P. F.; FAGUNDES, P. M. **Fotogrametria**. Rio de Janeiro: Ed. UERJ, 1989.

TENG, W.L., 1997. **Fundamentals of Photographic Interpretation**. Em **Manual of Photographic Interpretation**, W. Phiçipson. 2 Edição. Editora Bethesda. Maryland. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, p.49-113.

TEMBA, Plínio. **Fundamentos de Fotogrametria**. 1. ed. Departamento de Cartografia, UFMG: [s.n.], 2000. 26 p. Disponível em: <<http://csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

VIEIRA, A.F.G.; Albuquerque, A.R.Da C. **Cadastramento de voçorocas e análise de risco erosivo em estradas: BR-174 (Trecho Manaus – Presidente Figueiredo)**. In: V Simpósio Nacional de Geomorfologia e I Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. (Anais). Santa Maria: UGB/UFSM, 2004. p.50-65. Disponível em: <http://sie.unb.br/ugb/app/webroot/sinageo/5/5/Antonio%20Fabio%20Guimaraes%20Vieira.pdf> Acesso em: 2 maio 2019.

VIEIRA, Antonio Fábio Guimarães. **Desenvolvimento e Distribuição de Voçorocas em Manaus (AM): Principais Fatores Controladores e Impactos Urbano-ambientais**. Florianópolis/SC,. 2008. Tese, Florianópolis, Santa Catarina, 2008. Disponível em: <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp077780.pdf>. Acesso em: 2 maio 2019.

VIEIRA, Rafael Tavares de Lucena Lotti; Almeida, Eliane Silva Ferreira. **Análise Geoambiental da Expansão Urbana do Vetor Sul de Belo Horizonte: aspectos físicos da bacia do córrego Estrangulado e os efeitos da urbanização sobre a paisagem**. Belo Horizonte: Novas Edições Academicas, 2018.

WEBB, N.P. & Strong, C.L. 2011. Soil **erodibility dynamics and its representation for wind erosion and dust emission models**. *Aeolian Research*, 3: 165–179.

WISCHMEIER, W.H. & Smith, D.D. Rainfall energy and its relationship to soil loss. **Transactions American Geophysical Union**, Washington, D.C., **39(2):285-291**, 1958.

WISCHMEIER, W. H. **A rainfall erosion index for a universal soil loss equation**. Proc. Soil
Disponível em: < <https://dl.sciencesocieties.org/publications/sssaj/abstracts/23/3/SS0230030246>>
Acesso em: 23 nov. 2018.

ZHOU, W; Troy, A. 2008. **An object-oriented approach for analysing and characterizing
urban landscape at the parcel level**. International Journal of Remote Sensing, 29(11): 3119-
3135. Acesso em: 17 set. 2018.