



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**IDENTIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA
(MGM) DOS TALUDES DA BR-356 ENTRE O KM 100+000 A KM 101+000,
E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS DA ÁREA
DESTINADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE DO
DISTRITO SEDE DE OURO PRETO, MINAS GERAIS**

Paula Carine Lemos Reis

MONOGRAFIA nº 359

Ouro Preto, março de 2020

**IDENTIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS
DE MASSA (MGM) DOS TALUDES DA BR-356 ENTRE O KM
100+000 A KM 101+000, E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES
GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS DA ÁREA DESTINADA À
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE DO
DISTRITO SEDE DE OURO PRETO, MINAS GERAIS**



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.^a Dr.^a Cláudia Aparecida Marlière de Lima

Vice-Reitor

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

Pró-Reitora de Graduação

Prof.^a Dr.^a Tânia Rossi Garbin

ESCOLA DE MINAS

Diretor

Prof. Dr. Issamu Endo

Vice-Diretor

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Prof. MSc. Edison Tazava

MONOGRAFIA

Nº 359

IDENTIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM) DOS TALUDES DA BR-356 ENTRE O KM 100+000 A KM 101+000, E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS DA ÁREA DESTINADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE DO DISTRITO SEDE DE OURO PRETO, MINAS GERAIS

Paula Carine Lemos Reis

Orientadora

Prof.^a Dr.^a Rosyelle Cristina Corteletti

Monografia do Trabalho de Conclusão de curso apresentado ao Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para avaliação da disciplina Trabalho de Conclusão de Curso – TCC 402, ano 2019/2.

OURO PRETO

2020

Universidade Federal de Ouro Preto – <http://www.ufop.br>
Escola de Minas - <http://www.em.ufop.br>
Departamento de Geologia - <http://www.degeo.ufop.br/>
Campus Morro do Cruzeiro s/n - Bauxita
35.400-000 Ouro Preto, Minas Gerais
Tel. (31) 3559-1600, Fax: (31) 3559-1606

Direitos de tradução e reprodução reservados.

Nenhuma parte desta publicação poderá ser gravada, armazenada em sistemas eletrônicos, fotocopiada ou reproduzida por meios mecânicos ou eletrônicos ou utilizada sem a observância das normas de direito autoral.

Revisão geral: Rosyelle Cristina Corteletti

Catálogo elaborado pela Biblioteca Prof. Luciano Jacques de Moraes do
Sistema de Bibliotecas e Informação - SISBIN - Universidade Federal de Ouro Preto

R375i Reis, Paula Carine Lemos.

Identificação dos movimentos gravitacionais de massa (MGM) dos taludes da BR-356 entre o km 100+000 a km 101+000, e análise das condições geológicas geotécnicas da área destinada à estação de tratamento de esgoto - ETE do distrito sede de Ouro Preto, Minas Gerais. [manuscrito] / Paula Carine Lemos Reis. - 2020.

85 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Dra. Rosyelle Cristina Corteletti.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geotecnia. 2. Mecânica do solo. 3. Veículo aéreo não tripulado. I.

Corteletti, Rosyelle Cristina . II. Universidade Federal de Ouro Preto. III.

Título.

CDU 624.131

<http://www.sisbin.ufop.br>

Ficha de Aprovação

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

TÍTULO: IDENTIFICAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM) DOS TALUDES DA BR-356 ENTRE O KM 100+000 A KM 101+000, E ANÁLISE DAS CONDIÇÕES GEOLÓGICAS GEOTÉCNICAS DA ÁREA DESTINADA À ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO - ETE DO DISTRITO SEDE DE OURO PRETO, MINAS GERAIS.

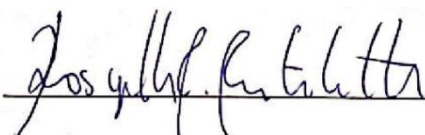
AUTOR: PAULA CARINE LEMOS REIS

ORIENTADORA: Prof^a. Dra. Rosyelle Cristina Corteletti

Aprovado em:


BANCA EXAMINADORA:

Prof.^a Dra. Rosyelle Cristina Corteletti



NUGEO/UFOP

Prof. MSc. Mateus Oliveira Xavier



DEARQ/UFOP

Eng. Geólogo MSc. Charles Romazâmu Murta



DEFESA CIVIL

Ouro Preto, 06/03/2020

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos seres de luz por me proverem de força para que eu me levante todos os dias, sempre à procura de ser uma mulher melhor e mais humana. Obrigada Deus por todas as bênçãos!

Aos meus pais Luiza e Arnaldo pelas raízes e principalmente asas, por cuidarem de nós cada qual à sua maneira.

Às minhas irmãs Priscila e Pollyana, por darem sentido ao real significado de família, essa luta foi por vocês! Obrigada por tudo, vocês são meu lar. Que venham mais conquistas, nós merecemos e não fugimos da luta! Aos meus irmãos Lara e Davi pela renovação.

À Renata, que me ensina todos os dias o verdadeiro sentido de gravidade, por nunca desistir de mim e ver coisas boas até no meu pior lado. Sem você eu nada seria!

A República Convento, meu lar, onde encontrei amor e mulheres fortes que me inspiram todos os dias.

À Rosyelle, por sempre andar ao meu lado, me apoiar e dar força nos momentos difíceis, por todos os ensinamentos, conhecimento compartilhado e dedos de prosa. Você é uma mulher incrível!

À UFOP pelo ensino gratuito e de qualidade, que assim persevere mesmo diante do caos e dos lobos que rondam.

Por fim, agradeço à música, por me manter viva nas piores fases desse percurso árduo e por aflorar a melhor parte da minha essência.

*“...Todos os caminhos são iguais
O que leva à glória ou à perdição
Há tantos caminhos, tantas portas
Mas somente um tem coração...”*

- Meu amigo Pedro, Raul Seixas

*“...Coragem, coragem
Se o que você quer é aquilo que pensa e faz
Coragem, coragem
Eu sei que você pode mais...”*

- Por quem os sinos dobram, Raul Seixas

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	ix
SUMÁRIO	xi
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE ABREVIACÕES	xix
RESUMO	xxi
1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA.....	1
1.2 OBJETIVOS.....	2
1.2.1 Objetivo Geral.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos	2
1.3 JUSTIFICATIVA	3
2 METODOLOGIA DE PESQUISA	5
2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	6
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1 INFRAESTRURAS	9
3.1.1 Obras lineares (gasodutos, rodovias e ferrovias).....	9
3.1.2 Estação de tratamento de Esgoto – ETE.....	9
3.2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM)	10
3.2.1 Rastejo (Creep).....	14
3.2.2 Escorregamento (rotacional e translacional)	14
3.2.3 Quedas	16
3.2.4 Corridas.....	17
3.3 SUSCETIBILIDADE.....	17
3.4 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E PLANEJAMENTO URBANO	18
3.5 LEGISLAÇÃO VIGENTE ETE.....	19
3.6 GEOPROCESSAMENTO	20
4 GEOLOGIA LOCAL E REGIONAL	21
4.1 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL.....	21
4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL.....	22
4.2.1 Supergrupo Minas	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
5.1 IMAGEAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO	29

5.2	CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA ÁREA	33
5.2.1	Análise da Suscetibilidade de MGM na área de estudo.....	33
5.2.2	Processamento de dados e modelagem	35
5.2.3	Análise temporal fotointerpretativa	47
5.3	HIDROGRAFIA	52
6	CONCLUSÕES	55
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fluxograma seguido para a realização do trabalho.....	5
Figura 2.2 - Localização da área de estudo com seus respectivos posicionamentos.....	6
Figura 2.3 - Configuração típica de obra linear e a área de estudo na BR-356.....	7
Figura 3.1 - Movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Corteletti (2014) adaptada Carson e Kirrby (1972).	11
Figura 3.2 - Esquema de movimento de massa caracterizado como rastejo modificado de USGS (2008).....	14
Figura 3.3 - Esquema de movimento de massa caracterizado como rotacional. Modificado de USGS (2008).....	15
Figura 3.4 - Esquema de movimento de massa caracterizado como translacional. Modificado de USGS (2008).	16
Figura 3.5 - Esquema de movimento de massa caracterizado como quedas. Modificado de USGS (2008).....	16
Figura 3.6 - Esquema de movimento de massa caracterizado como fluxo de detritos. Modificado de USGS (2008).	17
Figura 4.1 - Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero (modificado de Alkimim & Marshak, 1998).....	21
Figura 4.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).....	22
Figura 4.3 - Localização do mapa utilizado no Estado de Minas Gerais.....	23
Figura 4.4 - Representação da área de estudo (em vermelho) na carta litológica simplificada do distrito sede de Ouro Preto. Lobato et al. (2005) adaptada por Xavier (2018).	24
Figura 4.5 - Filito carbonoso de coloração escura (acervo pessoal).....	25
Figura 4.6 - Quartzito da Formação Fecho do Funil.....	26

Figura 4.7 - Filito de coloração clara sofrendo processo de pastilhamento (esquerda) e lentes de Formação Ferrífera Bandada (direita). Fonte: acervo pessoal.....	27
Figura 4.8 - Processo de escorregamento Planar em Xisto do Grupo Sabará. Fonte: acervo pessoal.....	28
Figura 5.1 - Drone Phantom IV PRO utilizado no imageamento.....	29
Figura 5.2 - Equipamento utilizado para a realização do geoposicionamento com RTK.	30
Figura 5.3 - Ortofoto gerada com a sobreposição de imagens obtidas por Drone.	31
Figura 5.4 - Qualidade da imagem ancorada ao overllaping obtido com o imageamento de Drone.	32
Figura 5.5 - Imagem Google Earth 2018 do Distrito Sede de Ouro Preto, entre as Serras de Ouro Preto e a Serra do Itacolomi. (Fonte: Tavares, 2018).	33
Figura 5.6 - Carta Morfológica do Distrito Sede de Ouro Preto (Mateus, 2018).	34
Figura 5.7 - Mapa de declividade.	36
Figura 5.8 - Mapa de elevação elaborado por Reis (2019).	38
Figura 5.9 - Foto aérea em alta definição da área indicando par de falhas em vermelho.	39
Figura 5.10 - Seta indica plano vertical em relação ao tronco de árvore de pequeno porte, característica típica de movimento de rastejo. Fonte: acervo pessoal.	42
Figura 5.11 - Processo de voçorocamento na área abaixo da ETE.....	42
Figura 5.12 - Ravina de aproximadamente 15 metros de comprimento. Pontilhado amarelo indica lateral da ravina e seta azul indica o sentido do fluxo d'água. Fonte: Acervo pessoal.	43
Figura 5.13 - Lixo jogado na base da ETE por moradores locais a fim de impedir o processo de erosão acelerado.....	43
Figura 5.14 - Situação de abandono da estrutura, com água parada e lonas de contenção removidas pelos movimentos gravitacionais de massa.	44
Figura 5.15 - Mapa de susceptibilidade a escorregamentos.....	46
Figura 5.16 - Imagem satélite datada de 2008 retirada do Google Earth antes da construção da ETE, apontando a área onde ocorrerá o escorregamento.....	48

Figura 5.17 - Imagem satélite de 2011 retirada do Google Earth durante a construção da ETE. Seta indica talude onde ocorreu o escorregamento.	49
Figura 5.18 - Imagem satélite retirada do Google Earth 2012 após a construção da ETE. Seta indica obras de caráter paliativo no local.....	50
Figura 5.19 - Imagem do VANT gerada em 2018 com as setas indicando cicatrizes de escorregamentos que ocorreram na área.	51
Figura 5.20 - Contexto ao qual está inserida a bacia do Ribeirão do Carmo.	52
Figura 5.21 - Contexto ao qual está inserida a bacia do Ribeirão do Carmo. Seta amarela indica a ETE.....	53

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 - Características dos movimentos de massa. terminologia utilizada pela USGS (2008) e modificada por Corteletti (2014).	12
Tabela 3.2 - Conceitos de suscetibilidade relacionados (Modificado de Corteletti, 2017).....	18
Tabela 5.1 - Tipos de movimentos e características gerais encontrados na área.....	40

LISTA DE ABREVIACÕES

ARP - Aeronave Remotamente Pilotada

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

EFVM - Estrada de Ferro Vitória Minas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

km - Quilômetro

MGM - Movimento Gravitacional de Massa

RDGN - Rede de distribuição de Gás Natural

RTK - Real Time Kinematic

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SR – Sensoriamento Remoto

SUPRAM – Superintendência Regional de Meio Ambiente

VANT - Veículo aéreo não tripulado

Resumo

Os problemas de origem geológico-geotécnicos desencadeiam processos que culminam na instabilidade dos taludes vicinais e afetam diversos tipos de infraestruturas, causando grandes perdas econômicas. A área de estudo aborda o terreno onde será localizada a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Osso de Boi do Distrito Sede de Ouro Preto, sua implantação teve início em 2010 e encontra-se com suas obras paralisadas desde 2011 devido à um processo na justiça, instaurado pelo DNIT em 2013. A área fica entre os km 100 e km 101 da BR, onde neste trecho é cortada por um ramal da Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), pela linha tronco do gasoduto Polo Vale do Aço da rede de Distribuição de Gás Natural (RDGN), além da própria BR. Com objetivo de identificar os Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) e fazer uma análise geológica geotécnica do terreno voltada para a implantação da ETE, foram realizadas análises cartográficas do uso e ocupação do local, e das redes de drenagens hidrográficas da área. Também, foram analisadas imagens de veículo aéreo não tripulado (VANT) e imagens de satélite do software Google Earth Pro, para estimar a magnitude dos movimentos de massa na área, e sua evolução no tempo com o início da implantação da ETE. Os resultados das análises colocam em questionamento a viabilidade do terreno para este fim, uma vez que a área apresenta alta suscetibilidade de MGM, além de conflito de uso e ocupação com as infraestruturas existentes. Ademais, sua localização às margens do ribeirão do Carmo (afluente da bacia do rio Doce) não contempla o distrito sede como um todo, somente os bairros da região oeste e sudoeste, por exemplo Centro Histórico, Barra, Rosário, Bauxita, dentre outros. Já os bairros da região noroeste: Padre Faria, Piedade, Alto da Cruz, Morro do Santana, dentre outros, não seriam atendidos. Neste contexto, os fatores analisados levaram em questionamento à viabilidade da área para a implantação da ETE. Este trabalho mostra a importância e a contribuição dos estudos geológico-geotécnicos e cartográficos para um empreendimento de infraestrutura desse porte, no qual a ausência destes pode comprometer a implantação ou mesmo acarretar prejuízo aos cofres públicos e à população.

Palavras chave: infraestruturas, movimentos gravitacionais de massa, veículo aéreo não tripulado

CAPÍTULO 1

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

As obras de infraestruturas, sejam elas lineares ou para atendimento à população, são caracterizadas por possuírem grande porte, e conseqüentemente, atravessam condições geológicas diversas das estruturas maiores que as contém, como fatores geomorfológicos, pedológicos e vegetativos. Devido à estes fatores, podem ocorrer problemas de cunho geológico-geotécnico que afetam essas estruturas, provocando instabilidade nos taludes de corte e de aterro que as bordejam, sendo deflagrados por meio de processos naturais ou de origem antrópica, afetando encostas naturais e outros locais de via, tanto em solo como em rocha (Corteletti 2014).

Tais aspectos podem ser agravados pela falta de conhecimento do meio físico, com foco na gênese dos processos superficiais e a dinâmica condicionada pelo comportamento particular de cada material, o qual é submetido a implantação destas obras. O desconhecimento técnico dessas particularidades gera a propagação de erros, que culminam na elaboração de projetos inadequados e construções condenadas, tornando-se indispensáveis o levantamento e investigação das características e comportamento do meio físico e suas derivações, para uma boa gestão ambiental e manutenção das rodovias, assim como demais obras que envolvem essa temática (Fernandes et. al 2011).

Os movimentos gravitacionais de massa são caracterizados como processos geodinâmicos e ocorrem em todo o território brasileiro. O desordenamento da ocupação urbana e as obras demandadas para sua instalação são fatores propulsores de áreas com alta suscetibilidade à escorregamentos, subsidência de terrenos, queda de blocos, entre outros, esses movimentos oferecem risco e podem acarretar perdas. Dentre essas perdas pode-se destacar que parcela significativa dos movimentos de massa afeta diretamente o sistema de transporte rodoviário e ferroviário, bem como oleodutos e gasodutos, ameaçando a estabilidade desses empreendimentos, trazendo graves conseqüências econômicas, sociais e ambientais. (Fernandes et. al 2011).

Outros tipos de infraestruturas são caracterizados pelo seu grande porte, e voltados para atendimento direto à população. Existem alguns tipos de empreendimentos, como as hidrelétricas, estações de tratamento de água e esgoto, aterros sanitários, loteamentos e cemitérios. Os movimentos gravitacionais de massa que ocorrem em áreas proximais, ou localizadas sobre essas obras podem causar desastres sociais e econômicos, culminando alagamentos, problemas de ordem urbana e contaminação de águas.

O estudo foi desenvolvido no trecho km 100+000 a km 101+000 da rodovia BR-356, que assim como várias rodovias do Brasil sofre com problemas de origem geológico-geotécnicos, relacionados à instabilidade de taludes ao longo de seu trajeto. No entanto, este trecho tem grande relevância, pois está localizado dentro da área urbana de Ouro Preto e possui diferentes tipos de infraestruturas:

- a própria rodovia, uma importante ligação entre Ouro Preto e Ponte Nova;
- a linha tronco do gasoduto Pólo Vale do Aço da Rede de Distribuição de Gás Natural (RDGN) na sobre a pista da BR;
- ramal da Estrada de Ferro Vitoria Minas que liga Ouro Preto a Mariana;
- além de bordejar o Ribeirão do Carmo, importante efluente de água na região;
- ser próximo as linhas de energia que se dispõem ao longo de toda a BR.

Trata-se, portanto, da análise de parte do segmento da BR-356, entroncamento MG-502 (Ouro Preto) km 90,2 – Entroncamento MG-129/262 (Mariana) km 108,2, que apresenta entre o km 100+000 a km 101+000 taludes com processos ativos de movimentação gravitacional de massa. Dentro desse contexto, foi realizada identificação de problemas geológico-geotécnicos que compreendem as rupturas dos taludes em área urbana envolvendo as infraestruturas existentes no trecho.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O trabalho tem como finalidade gerar informações geológico-geotécnicas de movimentos gravitacionais de massa que as obras de infraestrutura estão expostas, no trecho entre os km 100 ao km 101 da BR-356, tendo como estudo de caso a área da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Osso de Boi, para demonstrar a importância destas análises na escolha e viabilidade de áreas para implantação deste tipo de empreendimento.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) do trecho entre os km 100+000 ao km 101+000 da BR-356 considerando as infraestruturas existentes no entorno imediato da área de implantação da ETE Osso de Boi;

- Foto interpretação de imagens feita por Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e imagens de satélite do software Google Earth Pro, para estimar a magnitude dos movimentos de massa, e evolução temporal na área de implantação da ETE;
- Análise da contribuição do ribeirão do Carmo, afluente da bacia do rio Doce na região da área de implantação da ETE;
- Análise geológica-geotécnica da viabilidade de implantação da ETE na área destinada pela Prefeitura Municipal de Ouro Preto.

1.3 JUSTIFICATIVA

Segundo o Relatório de Gestão Temático do DNIT publicado em 2018 os gastos com manutenção da malha rodoviária no ano de 2017 foram de aproximadamente R\$4,88 bilhões, o que inclui obras de caráter geológico-geotécnico como: recuperação de encostas, estabilização de taludes e eliminação de erosões. Em 2010 às margens da rodovia BR-356 no trecho km 100+000 ao km 101+000 foi iniciada a construção da Estação de Tratamento de Esgoto Osso de Boi com o custo estimado de R\$ 9.592.694,88 (SUPRAM, 2009), porém a obra foi paralisada por comprometer a estrutura desta rodovia, ao desencadear em 2011 um escorregamento durante a implantação da ETE.

Torna-se indispensável a boa gestão dos recursos e realização de estudos investigativos, com a finalidade de se reduzir os gastos de intervenções pós-eventos para este tipo de empreendimento.

Percebe-se que os problemas decorridos dos movimentos de massa e erosões, que ocorrem geralmente na implantação de infraestruturas, têm como causa a falta de estudos geológico-geotécnicos voltados para este tipo de estruturas. Todavia as ações efetivas para mitigar estes problemas são por vezes mínimas, se correlacionadas à demanda, visto que os eventos se repetem sob a mesma sistemática (Corteletti, 2017).

Neste contexto, torna-se um desafio o estudo do trecho do km 100+000 a 101+000, por ainda envolver outros tipos de infraestruturas: gasoduto -RDGN-Linha Tronco Vale do Aço, área de Estação de Tratamento de Esgotos – ETE, e a Ferrovia Ouro Preto-Mariana.

CAPÍTULO 2

METODOLOGIA DE PESQUISA

O trabalho foi realizado com o intuito de diferenciar os pontos de maior potencial de deslizamento da encosta próxima a Estação de Tratamento de Esgoto de Ouro Preto, neste contexto também serão afetados o Gasoduto Polo Vale do Aço da rede de distribuição de Gás Natural (RDGN), a Linha Férrea Ouro Preto-Mariana, a rodovia BR-356 e o Ribeirão do Carmo.

O desenvolvimento do trabalho está alicerçado nas seguintes etapas realizadas, cuja sequência e organização estão representadas no fluxograma (Figura 2.1) abaixo:

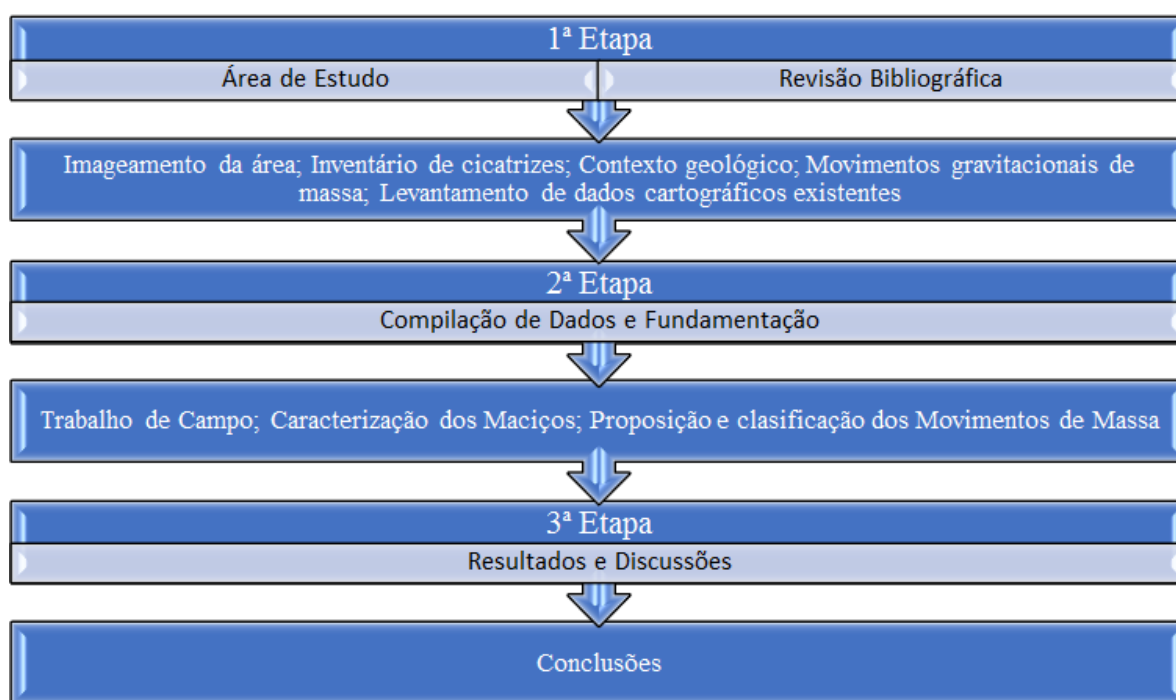


Figura 2.1 - Fluxograma seguido para a realização do trabalho.

A primeira fase de estudo teve como foco a obtenção de dados preliminares para embasar a identificação dos movimentos gravitacionais de massa (corridas, escorregamentos e quedas de bloco) e suas características. Como ponto de partida, foram realizados levantamentos e análises de publicações referentes ao contexto geológico que a área está inserida, além dos temas em estudo; a pesquisa bibliográfica efetuada teve intuito de obter informações relevantes e integradas sobre os seguintes temas pormenorizados no CAPÍTULO 3:

- Histórico da ETE Osso de Boi do distrito sede de Ouro Preto, MG.
- Obras lineares (Gasodutos, Rodovias e Ferrovias);

- Movimentos Gravitacionais de Massa;
- Avaliação de Risco geológico-geotécnico;
- Legislação Vigente ETE,
- Imageamento por Veículo Aéreo não tripulado (VANT);

2.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo encontra-se na região sudeste do estado de Minas Gerais, e pertence ao município de Ouro Preto. A cerca de 7 km da sede do município e o acesso pode ser realizado pela Rodovia BR-356 sentido Ouro Preto-Mariana (Figura 2.2).

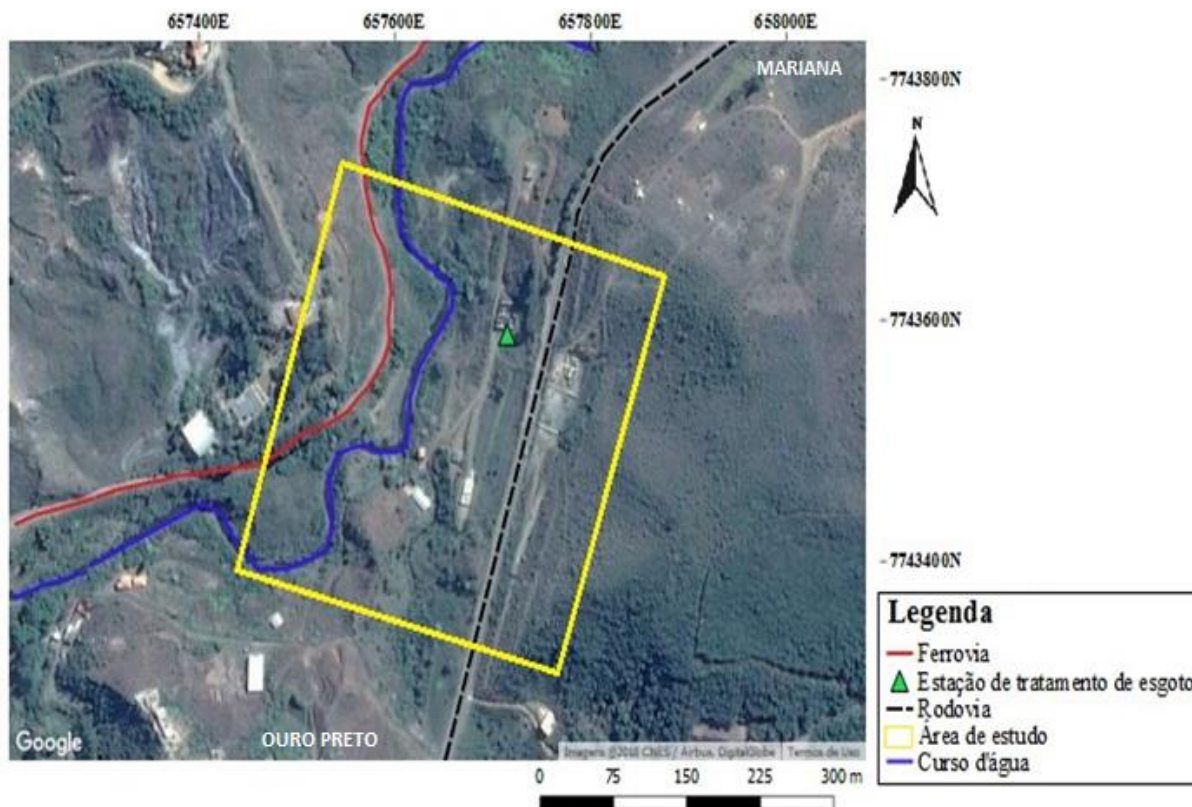


Figura 2.2 - Localização da área de estudo com seus respectivos posicionamentos. Google Earth (2018).

A rodovia, assim como infraestruturas lineares, possui como característica grandes extensões que percorrem distintos sítios urbanos e rurais. Trata-se de uma metodologia construtiva em que a via possui extensão maior que sua largura. A área de estudo, por fazer parte de um trecho da rodovia BR-356, foi calculada a partir do limite da área de concessão (15m) da margem direita da rodovia (sentido

Belo Horizonte (MG) – São João da Barra (RJ), avançando 60 metros para a esquerda da BR (Figura 3), totalizando 4,5 km². Conforme o esquema representado na Figura 2.3:

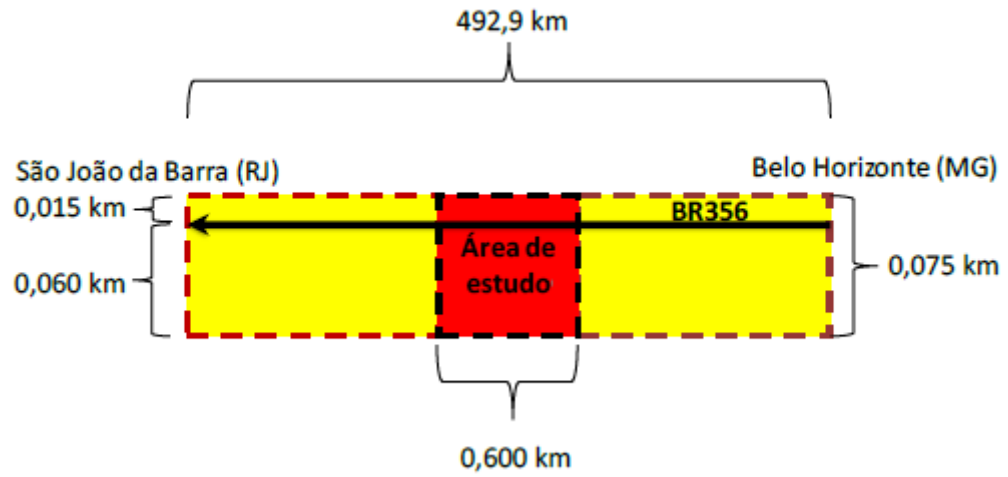


Figura 2.3 - Configuração típica de obra linear e a área de estudo na BR-356.

3.1 INFRAESTRURAS

3.1.1 Obras lineares (gasodutos, rodovias e ferrovias)

O gasoduto é o modo de transporte que emprega um sistema de dutos – tubos ou cilindros antecipadamente preparados, formando uma linha chamada de dutovia, ou via composta por dutos, na qual se movimentam produtos de um ponto a outro. A ligação é realizada do ponto de exploração até a Unidade de Tratamento de Gás, havendo, assim, risco de vazamento e contaminação ambiental, bem como explosões e perda de vidas humanas (Rodrigues, 2009).

As rodovias e ferrovias são obras lineares de extrema importância para o desenvolvimento e interligação do país, sendo elas um meio de distribuição de mercadorias e conexão de transportes. Segundo boletim estatístico publicado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) em fevereiro de 2019, a malha rodoviária pavimentada totaliza de 213.208 km, e a malha ferroviária possui extensão total de 30.485 km, totalizando como matriz de transporte, mais de 80% de movimentação anual de cargas e passageiros.

O modal ferroviário caracteriza-se, especialmente, por sua capacidade de transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. Apresenta, ainda, maior segurança, em relação ao modal rodoviário, com menor índice de acidentes e menor incidência de furtos e roubos (ANTT, 2012).

A origem dos problemas geotécnicos nas ferrovias do Brasil não está restrita somente ao baixo investimento neste tipo de infraestrutura no país, mas também se relaciona às características de contorno deste tipo de obra, pois percorrem longas distâncias e atravessam trechos com características geológicas, geotécnicas e geomorfológicas bem distintas (Ziegler, 2014).

3.1.2 Estação de tratamento de Esgoto – ETE

O Sistema de Esgoto Sanitário engloba todas as instalações, equipamentos e condutos responsáveis pelo condicionamento e transporte do esgoto sanitário.

Segundo Tsutiya & Alem Sobrinho (2000) o sistema é composto por:

- Rede coletora: conjunto de tubulações que conduzem e destinam os esgotos para um emissário ou interceptor, composta por coletores primários e secundários;
- Interceptor: canais que recebem apenas coletores primários;
- Emissário: canalização que conduz o esgoto às estações de tratamento;
- Sifão invertido: destinada à transposição de obstáculos;
- Corpo de água receptor: corpo de água onde os esgotos são lançados;
- Estação elevatória: instalação responsável pelo transporte do esgoto de níveis topográficos baixos para altos;
- e Estação de Tratamento (ETE).

A Estação de Tratamento de Esgoto é o conjunto de instalações destinada à depuração dos esgotos, antes do lançamento no corpo hídrico receptor, é composta por usualmente por: reatores anaeróbios de fluxo ascendente (RAFA), tanques de filtragem, decantadores e leito de secagem como demonstrado na Planta da ETE Osso de Boi em Anexo 1 do presente trabalho.

3.2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA (MGM)

Os movimentos de massa decorrem de diferentes processos e materiais. Constituem importante aspecto a ser analisado, no que se refere às características geomorfológicas, pedológicas, litológicas e estruturais da plataforma geológica ao qual está inserida.

Entende-se como plataforma geológica o ambiente físico ao qual será instalado o edificado, este último, caracterizado por ruas, rodovias, instalação de água e esgoto, elétrica, etc. (Carvalho, 2018).

Segundo Tominaga, adota-se a definição a seguir para o termo movimentos de massa:

“Movimentos de massa são caracterizados por movimentos de solos, rocha e/ou vegetação ao longo da vertente sob a ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá pela redução da resistência dos materiais de vertente [...]” (Tominaga, 2009, p.27).

Sendo o aspecto físico da inclinação dos taludes fator decisivo deflagrador dos movimentos de massas, os agentes externos como pluviosidade, cortes verticalizados em encostas, ação dos ventos, dentre outros, são fatores que merecem destaque na análise da estabilização dos taludes.

Serão abordados os movimentos de massa clássicos para os fins do presente trabalho sendo eles: rastejo (creep), escorregamentos, quedas e corridas. O diagrama ternário abaixo mostra de forma didática a influência da presença da água e o fator velocidade que culminam em determinados tipos de movimentos de massa, baseado nas características geológico-geotécnicas específicas.

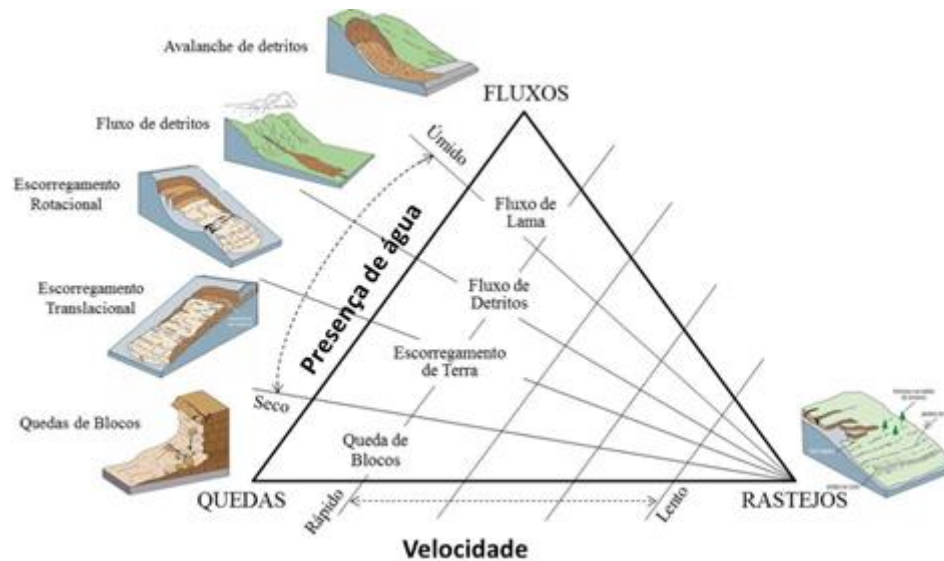


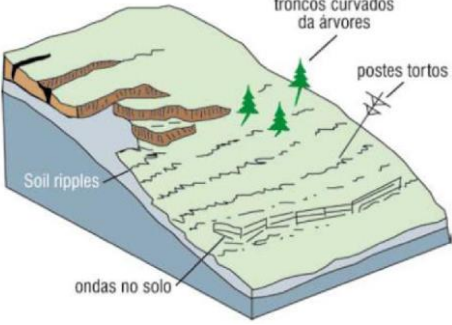
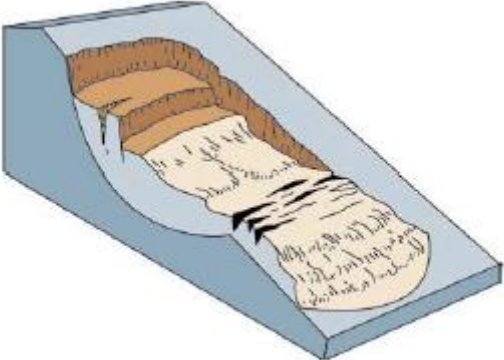
Figura 3.1 - Movimentos gravitacionais de massa. Fonte: Corteletti (2014) adaptada Carson e Kirrby (1972).

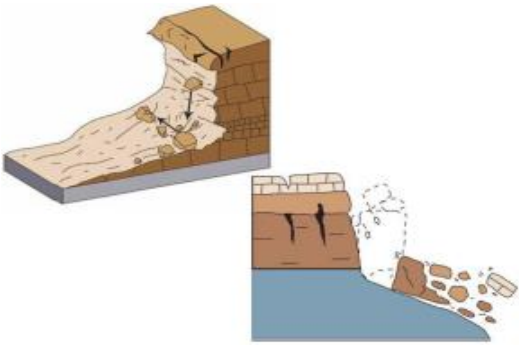
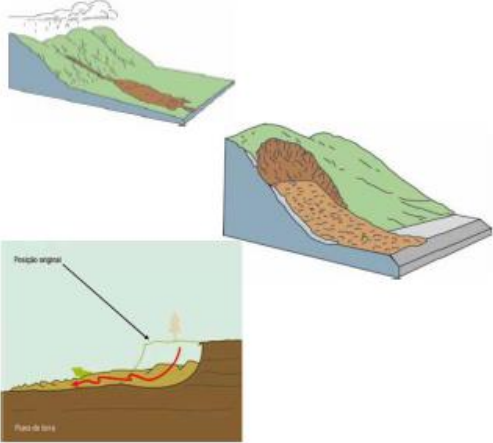
Para se compreender os movimentos gravitacionais de massa é necessário ter conhecimento de alguns conceitos sobre os processos estáticos e dinâmicos que desencadeiam esses fenômenos.

Os processos estáticos são enquadrados, geológico e estruturalmente, em escala regional e local, a partir das características petrográficas. Já os de caráter dinâmico são referentes aos mecanismos relacionados aos processos da geodinâmica externa da Terra. Desta forma, estes últimos influenciam de maneira substancial todo o processo de concepção, implantação e manutenção de obras em geral, bem como a gestão da interação entre homem e o espaço natural (Corteletti, 2017).

Os movimentos de massa são especificados na Tabela 3.1 desenvolvida por Corteletti (2017), baseada na terminologia utilizada na classificação proposta por USGS, 2008 e modificada no presente trabalho. Sendo detalhados nos subtópicos 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3 e 3.2.4 do presente capítulo, utilizando a terminologia proposta pela USGS (2008).

Tabela 3.1 - Características dos movimentos de massa. terminologia utilizada pela USGS (2008) e modificada por Corteletti (2014).

Classe	Desenho esquemático	Características
<p>Rastejo (<i>creep</i>)</p>	 <p>USGS (2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - vários planos de deslocamento (internos); - velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade; - movimentos constantes, sazonais ou intermitentes; - solo, depósitos, rocha alterada e/ou fraturada; - geometria indefinida.
<p>Escorregamento</p>	 <p>USGS (2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> poucos planos de deslocamento (externos); - velocidades médias (m/h) a altas (m/s); - pequenos a grandes volumes de material; - geometria e materiais variáveis: planares ou translacionais; solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza; - circulares ou rotacionais: aterros, solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas; - em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.

<p>Quedas</p>	 <p>USGS (2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sem planos de deslocamento; - queda livre ou rolamento através de plano inclinado. Velocidades muito altas (vários m/s); - material rochoso; - pequenos e médios volumes; geometria variável: lascas, placas, placas, blocos, etc.; - tipos: rolamento de matacão; tombamento; deslocamento.
<p>Corridas</p>	 <p>USGS (2008)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação); - movimento semelhante ao de um líquido viscoso; - desenvolvimento ao longo das drenagens; - velocidades médias a altas; - mobilização de solo, rochas, detritos e água; - grandes volumes de material; - extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas.

3.2.1 Rastejo (Creep)

Conforme Tominaga (2009, p. 34) “Rastejos são movimentos de massa lentos e contínuos de material de encosta com limites indefinidos. Envolvem muitas vezes grandes volumes de solo, sem que apresente uma diferenciação visível entre o material movimentado e o estacionário.” Possuem como principal causa de desencadeamento a ação da gravidade e fatores como umidade e presença de vegetação que recobre o material em questão. A ação contrativa e expansiva, inerente ao material, provoca a movimentação e deslocamento a jusante da encosta.

Possui como características: geometria tida como indefinida, vários planos de deslocamento, velocidades muito baixas e decrescentes com a profundidade, movimentos constantes, sazonais ou intermitentes. Ocorrem em solo, depósitos ou aterros, rocha alterada e/ou fraturada. Podem ser identificados por feições como árvores encurvadas, assim como cercas e postes, e embarrigamento em muros. (USGS, 2008).

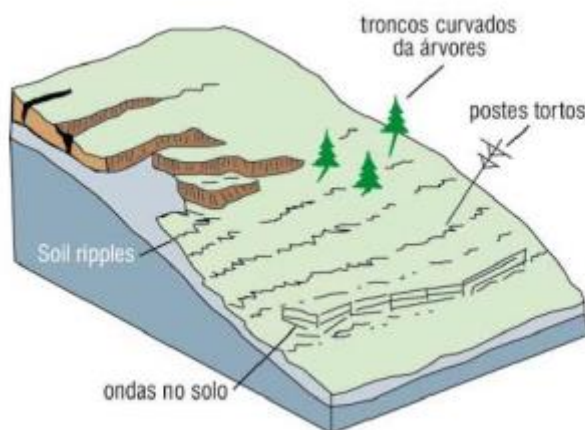


Figura 3.2 - Esquema de movimento de massa caracterizado como rastejo modificado de USGS (2008).

3.2.2 Escorregamento (rotacional e translacional)

Os escorregamentos são movimentos de massa de solo ou rocha sob ação da gravidade que ocorrem em estruturas de ruptura ou zonas com pequena espessura e intensa deformação por cisalhamento. O movimento é gradacional se comparado ao ponto inicial de ruptura e se relacionado a base do deslocamento. São classificados em escorregamentos rotacionais e translacionais (USGS, 2008).

Possuem como características poucos planos de deslocamento, velocidades médias a altas, centimétricas a métricas por segundo; pequenos volumes de material; com geometria e materiais variáveis em solos pouco espessos ou rochas com um plano de fraqueza. (USGS, 2008)

3.2.2.1 *Escorregamento rotacional*

O escorregamento rotacional ocorre quando a superfície de ruptura do talude se apresenta em forma curvilínea, o movimento faz uma trajetória aproximadamente rotatória em torno de um eixo paralelo à linha de contorno do talude. Ocorre mais frequentemente em materiais homogêneos, onde a massa se desloca de maneira uniforme e com baixa taxa de deformação do sistema, e está associado a taludes com variação entre 20 a 40 graus de inclinação. (USGS, 2008)

O encharcamento do solo, pela água retida da chuva, pode desestabilizar o talude, saturando o sistema, aumentando assim o nível de água em seu interior, o que causa a movimentação de massa e acarreta esse tipo de escorregamento. Também pode ser desencadeado, por meio da erosão no sopé por águas subterrâneas, ribeirões, rios e lagos. (USGS, 2008)

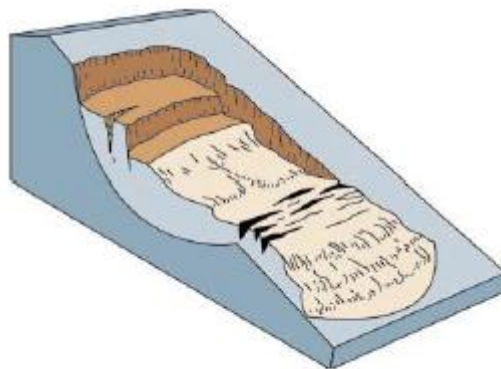


Figura 3.3 - Esquema de movimento de massa caracterizado como rotacional. Modificado de USGS (2008).

3.2.2.2 *Escorregamento translacional*

O escorregamento translacional é quando a superfície de ruptura do talude se apresenta relativamente plana, podendo estar levemente inclinada para trás ou rotacionada. Esse tipo de movimento tende a avançar consideravelmente, variando com o ângulo de inclinação da superfície de ruptura. Ocorre geralmente ao longo de descontinuidades geológicas, onde há transição de características das camadas, como contato entre rocha e solo, falhas, junções e estratificações.

A velocidade inicial desse movimento de massa é relativamente devagar, mas pode atingir altas velocidades a depender das características do terreno. A superfície de ruptura apresenta menor

profundidade, se comparada ao escorregamento rotacional, e a razão entre distância e extensão pode variar de nível local a regional, podendo vir a se transformar em fluxo de detritos. (USGS, 2008)

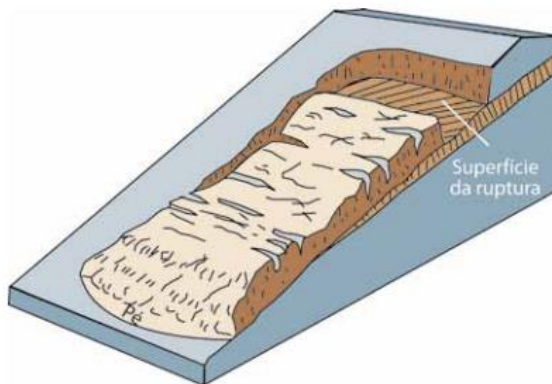


Figura 3.4 - Esquema de movimento de massa caracterizado como translacional. Modificado de USGS (2008).

3.2.3 Quedas

As quedas são caracterizadas pela separação entre rocha e solo em um talude inclinado, onde esse material colapsa provocando um descolamento ao longo da superfície, saltos e rolamentos do material com os taludes de menor inclinação à jusante, seguindo assim sob o efeito da gravidade até cotas inferiores do terreno e sua estabilização.

Ocorre em taludes com diferença de cota abrupta, onde o volume do material varia de acordo com as condições geodinâmicas. É causado naturalmente pela erosão por águas correntes (ribeirões, rios, etc) e pluviais, ou possui origem antrópica através de escavações para implementação de obras de infraestruturas como: estradas, ferrovias, dutovias, entre outras. (USGS, 2008)

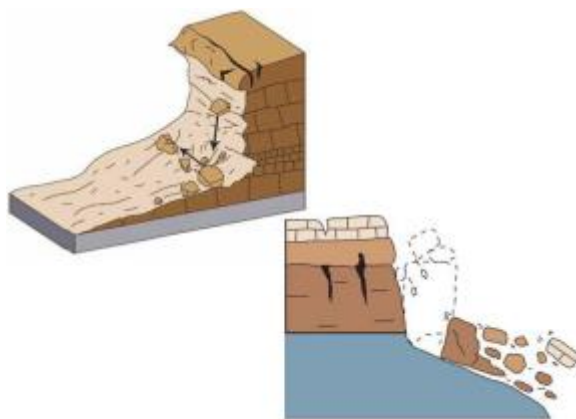


Figura 3.5 - Esquema de movimento de massa caracterizado como quedas. Modificado de USGS (2008).

3.2.4 Corridas

As corridas, também conhecidas como escorregamentos, configuram um movimento de massa contínuo, comparado ao comportamento de um líquido viscoso escorrendo sobre uma superfície, frequentemente migram para escoamentos em virtude das características intrínsecas do sistema. As corridas se dividem em três tipos: terra, lama e detritos.

Ocorre de maneira rápida e veloz, carreando todo o tipo de matéria em seu caminho, gerando uma grande massa que se desloca sentido à base do talude, facilitada por sua inclinação. A perda de coesão ou adição de água no sistema pode transformar em fluxo de detritos um escorregamento rotacional ou translacional. O volume de matéria deslocado frequentemente é reconhecido pela forma cônica e triangular estacionado na ponta do talude. (USGS, 2008)

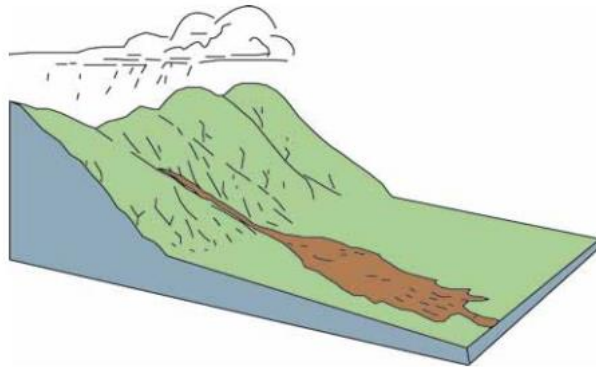


Figura 3.6 - Esquema de movimento de massa caracterizado como fluxo de detritos. Modificado de USGS (2008).

3.3 SUSCETIBILIDADE

O termo suscetibilidade refere-se à pré-disposição a ocorrência de um evento em uma dada área, sendo analisados fatores geológicos e geotécnicos locais. Ou seja, são considerados parâmetros físicos, ignorando possíveis perdas socioeconômicas.

Alguns autores e instituições classificaram o conceito suscetibilidade na Tabela 2 modificada por Corteletti (2017).

Tabela 3.2 - Conceitos de suscetibilidade relacionados (Modificado de Corteletti, 2017).

SUSCETIBILIDADE		
	Autor	Conceito
Pesquisadores	Fell (1994)	Refere-se a suscetibilidade ao escorregamento como a possibilidade de que o escorregamento ocorra em uma área com base nas condições do terreno local. A suscetibilidade não considera, de forma explícita, a probabilidade de ocorrência, que também depende de recorrência de fatores de disparo, tais como as precipitações ou sismos.
	Zêzere (2005)	Refere-se como a probabilidade espacial de ocorrência de um determinado fenômeno numa dada área, tendo em conta os fatores condicionantes existentes no terreno, independentemente do seu período de recorrência, ou seja, a susceptibilidade reflete uma probabilidade espacial, mas não temporal.
Instituição de Pesquisa	JTC 32 (2004)	Ao escorregamento: envolve classificação de área, ou volume (magnitude) e distribuição espacial e potencial de deslizamento de terra na área de estudo. Pode também incluir uma descrição da distância de deslocamento, velocidade e intensidade do atual ou potencial escorregamento.
	USGS (2008)	Ao escorregamento: possibilidade de que um escorregamento ocorra em uma área com base nas condições do terreno local. A suscetibilidade não considera de forma explícita a probabilidade de ocorrência, que também depende da recorrência de fatores de disparo, tais como precipitações ou sismos.
	ASG e ISSMGE (2007)	A avaliação quantitativa ou qualitativa da classificação, volume (ou área) e distribuição espacial dos deslizamentos de terra que existem ou potencialmente pode ocorrer em uma área. A Susceptibilidade pode também incluir uma descrição da velocidade e da intensidade do escorregamento existente ou potencial.

O conceito adotado para o desenvolvimento da presente pesquisa foi o proposto pela USGS (2008), que considera as atribuições físicas do terreno local e descarta teoricamente a probabilidade de ocorrência do movimento gravitacional de massa.

3.4 CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E PLANEJAMENTO URBANO

Com o desenvolvimento tecnológico e melhoria no processamento de dados, aliado a evolução no armazenamento de banco de dados em SIG (sistemas de informações geográficas), tornou-se possível o gerenciamento, estruturação, análise e manipulação de um fluxo de informações cada vez mais refinado. O processamento desses dados possibilitou a geração de material cartográfico com focos diversos como o uso urbano de áreas não ocupadas e ocupadas, áreas com déficit e com infraestrutura instalada, implantação de obras civis, dentre outras.

O planejamento urbano visa a otimização das informações existentes e aplicação de maneira coordenada a fim de organizar o espaço, seja em porções territoriais ocupadas dotadas ou não de infraestrutura, quanto locais não ocupados. Buscando estabelecer correlação entre os processos geodinâmicos que podem ocorrer de maneira natural ou antrópica, bem como as características do meio ambiente.

Em suma, cartas geotécnicas são os resultados de projetos cartográficos que consideram diferentes tipos de solos (residuais ou transportados) e rochas, assim como suas características hidráulicas e mecânicas, com a finalidade de delimitar seu potencial e intervenções para o uso rural e urbano (Sobreira e Souza, 2012).

3.5 LEGISLAÇÃO VIGENTE ETE

Nas últimas décadas, o aumento da população urbana e conseqüentemente a produção de resíduos demandou crescente investimento em infraestrutura urbana. O tratamento destes resíduos pode afetar tanto o meio ambiente quanto a saúde dos seres humanos, tornando-se indispensável o estudo e avaliação dos riscos da implementação de obras nesse setor. Segundo relatório do IBGE, a população estimada para a cidade de Ouro Preto em 2018 era de 73.994 pessoas e uma área territorial de aproximadamente 1.245,865 km² (IBGE, 2018).

Segundo o Diagnóstico do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS publicado em fevereiro de 2019, o investimento na região sudeste em esgotamento sanitário foi de quase 2 bilhões de reais no ano de 2017, valor este que representa 49,4% do total investido nas demais macrorregiões do país. Pode-se observar a relevância nesse setor devido ao percentual monetário destinado as obras de infraestrutura na área de saneamento, porém a média do atendimento total com rede de esgotos no país é de 52,4%, o que preocupa o setor público e atinge a população que não tem acesso ao serviço de saneamento básico (Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto, 2017).

A lei federal nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, estabelece as seguintes diretrizes nacionais para o saneamento básico. Nesse sentido, foram escolhidos os artigos abaixo para melhor elucidação do tema tratado no presente trabalho:

Art. 2º Os serviços públicos de saneamento básico serão prestados com base nos seguintes princípios fundamentais:

I - universalização do acesso;

II - integralidade, compreendida como o conjunto de todas as atividades e componentes de cada um dos diversos serviços de saneamento básico, propiciando à população o acesso na conformidade de suas necessidades e maximizando a eficácia das ações e resultados;

III - abastecimento de água, esgotamento sanitário, limpeza urbana e manejo dos resíduos sólidos realizados de formas adequadas à saúde pública e à proteção do meio ambiente;

Art. 3º Para os efeitos desta Lei, considera-se:

I - saneamento básico: conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de:

b) esgotamento sanitário: constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente; (BRASIL, 2007).

Nota-se a importância do estabelecimento e reconhecimento legal, universalizando o direito ao acesso ao saneamento básico citados no inciso III, sendo indispensável no tocante à qualidade de vida e preocupação com a preservação do meio ambiente, e também evidenciando a relevância da lapidação dos mecanismos de gestão.

A fim de estabelecer a regulamentação para que os direitos do indivíduo sejam assegurados, por meio do cumprimento das normas, a resolução do CONAMA 01, de 23 de janeiro de 2016, norteia os critérios básicos para implementação das obras de infraestrutura, foco do trabalho:

Art. 2º - Dependerá de elaboração de Estudo de Impacto Ambiental e respectivo Relatório de Impacto Ambiental - RIMA, a serem submetidos à aprovação do órgão estadual competente, e da SEMA em caráter supletivo, o licenciamento de atividades modificadoras do meio ambiente, tais como:

V - oleodutos, gasodutos, minerodutos, troncos coletores e emissários de esgotos sanitários (CONAMA, 1986).

3.6 GEOPROCESSAMENTO

Segundo Câmara e Davis (2001, p.1), o conhecimento que alia técnicas matemáticas e computacionais utilizado no tratamento de dados das informações geográficas é chamado de Geoprocessamento, valendo-se de ferramentas computacionais denominadas Sistemas de Informações Geográficas (SIG). De acordo com Davis (1997, p.1), SIG é definido como “sistemas automatizados usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la”.

O ArcGis é composto por vários softwares de SIGS que foram produzidos pela empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute) que possibilita a análise de padrões espaciais, mapeamento, processamento de dados, etc. É constituído por ArcCatalog, ArcMap, ArcToolBox, ArcReader, ArcScene, ArcGlobe. Vale ressaltar a utilização prática do ArcToolBox e ArcScene no presente trabalho para testar na prática o modelo elaborado em etapa de escritório.

- rochas metassedimentares clásticas e químicas do Supergrupo Minas, do Paleoproterozóico.
- rochas metassedimentares clásticas do Grupo Itacolomi, ainda no Paleoproterozóico.

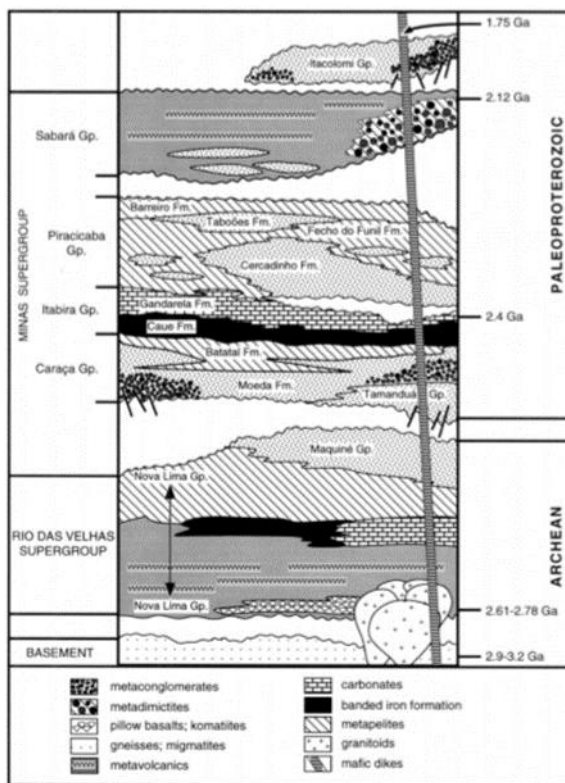


Figura 4.2 - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Fonte: Alkmim & Marshak (1998).

4.2 CONTEXTO GEOLÓGICO LOCAL

A área de estudo faz parte de uma estruturação geológica complexa, tanto pela variedade dos tipos de rocha encontradas, quanto por seu arranjo espacial, sendo a região marcada por importantes dobramentos e falhamentos. Está inserida nas Folhas Parciais do Mapa Geológico de Mariana SF.23-X-B-I-3 e SF.23-X-B-IV-1 elaborado em 2005 pela UFMG em escala 1:50.000 (Figura 4.3).

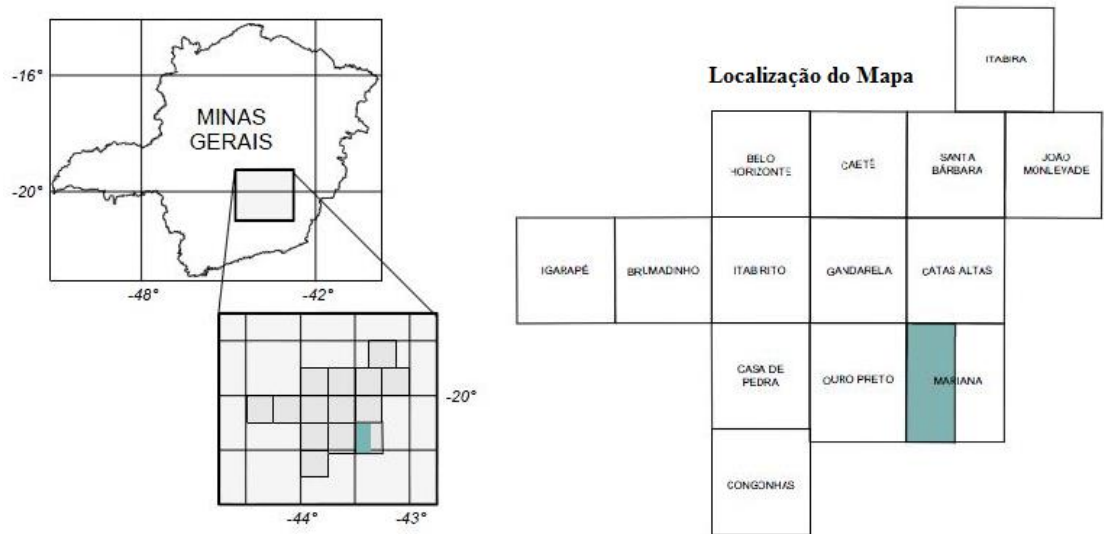


Figura 4.3 - Localização do mapa utilizado no Estado de Minas Gerais.

Dentre os principais tipos litológicos das unidades do Supergrupo Minas estão aflorantes na área de estudo (Figura 4.4) e são foco do trabalho: Grupo Piracicaba que compreende as Formações Barreio e Funil e o Grupo Sabará.

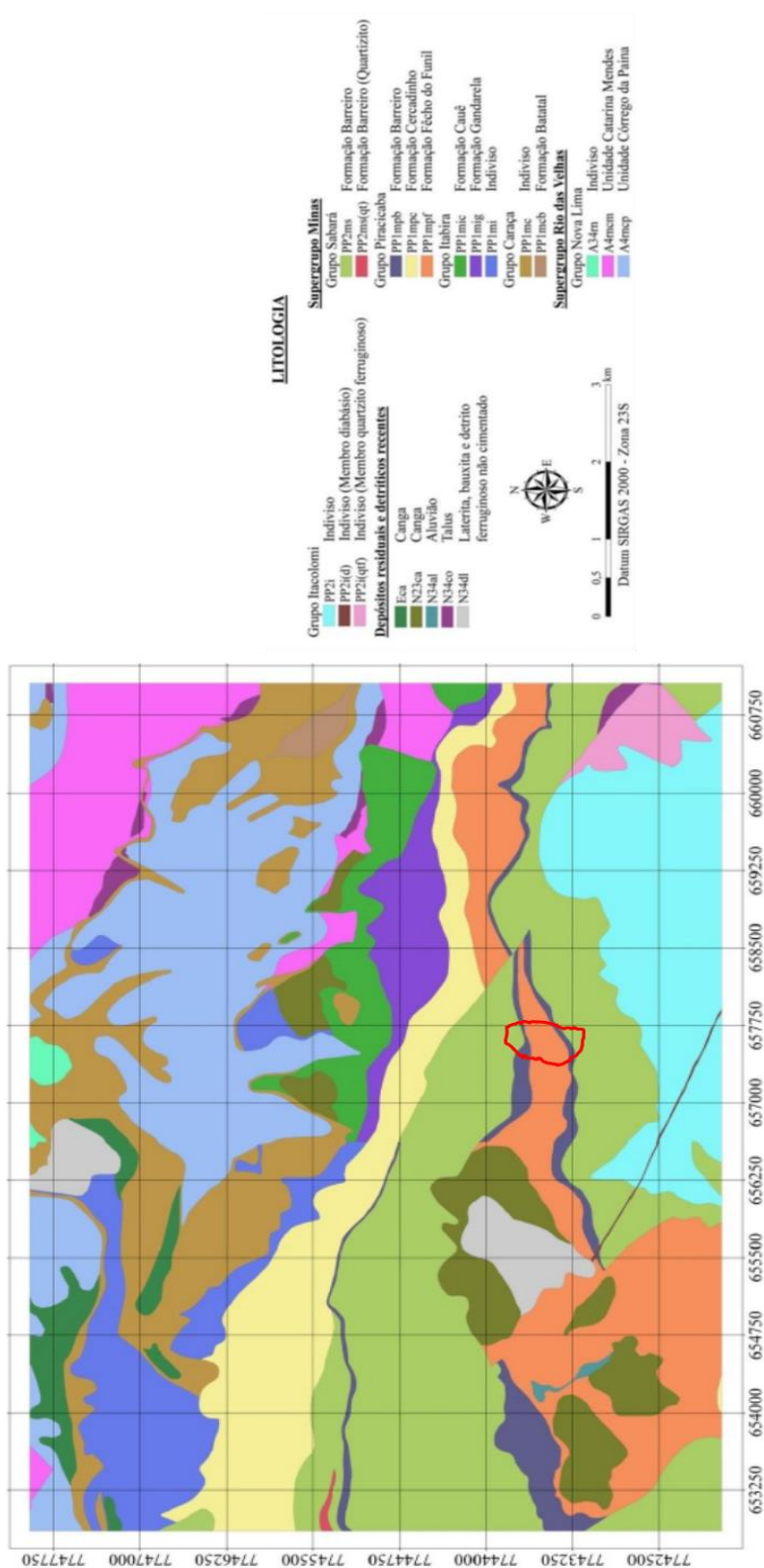


Figura 4.4 - Representação da área de estudo (em vermelho) na carta litológica simplificada do distrito sede de Ouro Preto. Lobato et al. (2005) adaptada por Xavier (2018).

4.2.1 Supergrupo Minas

O Supergrupo Minas corresponde à sequência sedimentares e vulcanossedimentares de rochas de idade proterozóicas, juntamente com o Grupo Itacolomi representam um pacote de sedimentos clásticos e químicos com aproximadamente 8 km de espessura (Dorr, 1969; Alkmim & Martins-Neto, 2012).

4.2.1.1 Grupo Piracicaba

Definido por Dorr *et al.* (1957), o Grupo Piracicaba é marcado por rochas depositadas em ambientes de regressão e transgressão marinha, iniciando-se com uma sequência deltaica da Formação Cercadinho e desenvolvendo-se para as sequências marinhas das Formações Taboões, Fecho do Funil e Barreiro. Dentre as 4 unidades que compõem o Grupo Piracicaba, 2 foram identificadas no projeto, são elas:

4.2.1.1.1 Formação Barreiro

Em campo foi observado filito e mica xistos, de coloração escura, devido ao alto teor de carbono na sua composição, que também continha mica e quartzo. Tinha granulação fina e apresentava foliação pouco espaçada.



Figura 4.5 - Filito carbonoso de coloração escura (acervo pessoal).

4.2.1.1.2 Formação Fecho do Funil

Em campo duas litologias diferentes puderam ser observadas dentro da Formação Fecho do Funil: um quartzito (Figura 4.6) e filito.

O quartzito tinha granulação média, com porfiroblastos de magnetita. Continha lentes filíticas que marcavam um bandamento composicional. Possuía um teor considerável de mica branca, onde viam-se foliações. Continha também percolações de manganês em formato botroidal.

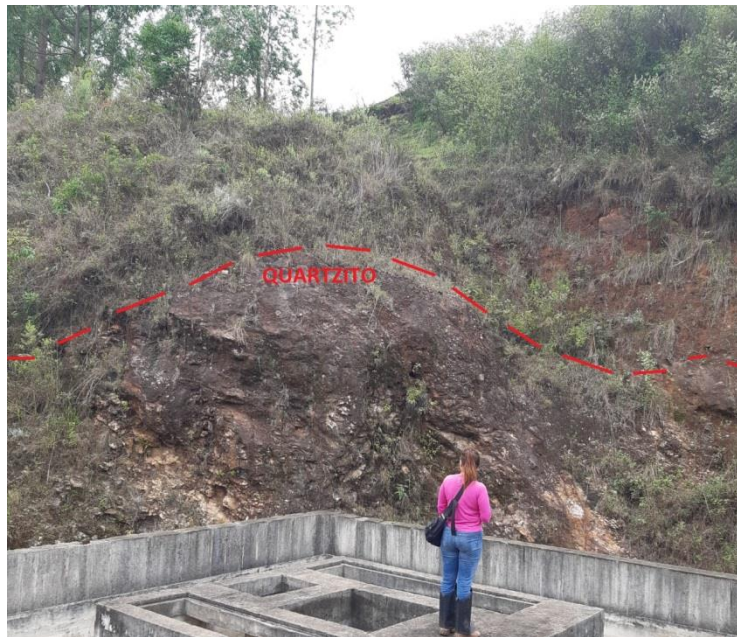


Figura 4.6 - Quartzito da Formação Fecho do Funil.

Em certo momento o filito se sobressaía e o quartzito passava a se resumir em porções quartzosas, indicando uma variação energética no ambiente deposicional. Foi possível identificar o contato entre as duas litologias, que era concordante com a foliação. O filito era claro, rico em muscovita e possuía alguns cristais fibrosos, que provavelmente se tratavam de cianita. Nos pacotes apareciam lentes de formação ferrífera e de filito de coloração mais escuro, classificado como componente da Formação Barreiro (Figura 4.7).



Figura 4.7 - Filito de coloração clara sofrendo processo de pastilhamento (esquerda) e lentes de Formação Ferrífera Bandada (direita). Fonte: acervo pessoal.

4.2.1.2 *Grupo Sabará*

Corresponde a uma sequência metavulcanossedimentar. Pôde ser observado em campo quartzitos e xistos de granulação média e cor esverdeada, com foliação, às vezes anastomosada, crenulação e algumas dobras de médio porte. Era permeada por zonas de fraturas, principalmente nas porções axiais das dobras devido ao fato de serem mais frágeis. Xisto Sabará: apresenta intercalações de xisto e filito, sendo que os xistos possuem porções ricas em ferro e porções mais micácea e quartzosa. A coloração varia de roxo, ocre e prateado, de acordo com a quantidade de minerais ferrosos. Nas porções ferruginosas há um alto teor de clorita e menor quantidade de quartzo, enquanto nos domínios micáceos aumenta-se a quantidade de quartzo e muscovita.



Figura 4.8 - Processo de escorregamento Planar em Xisto do Grupo Sabará. Fonte: acervo pessoal.

5.1 IMAGEAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Em 13 de abril de 2018 foi realizado o imageamento usando o Drone DJI Phantom IV PRO (Figura 5.1) com as seguintes características:

- Câmera com resolução 16,84 MP;
- Pixel por foto: largura: 5472 px e altura: 3078 px;
- Sensor CMOS: largura: 12,833 mm e altura: 7,219 mm;
- Distância Focal: 8,8 mm,
- A sobreposição lateral de imagens 80%.



Figura 5.1 - Drone Phantom IV PRO utilizado no imageamento.

O voo foi planejado usando o *software* PIX4D Capture, cobrindo uma área de 18.8464ha, utilizando as coordenadas WGS84 / UTM zone 23S. Foram tiradas 60 fotos aéreas e altura de voo variando em aproximadamente 120 metros.

Simultaneamente a esse imageamento foi realizado o geoposicionamento com o RTK (Figura 5.2).



Figura 5.2 - Equipamento utilizado para a realização do geoposicionamento com RTK.

Foram utilizados dois receptores de sinal, um fixo (base) e outro móvel, instalados em uma estação de referência com coordenadas conhecidas, sendo os pontos do receptor móvel chamados de pontos de controle. O receptor móvel coleta os dados dos pontos de controle escolhidos. Foram estabelecidos 13 pontos de controle e uma base fixada para o processamento dos dados. Para o levantamento dos dados o receptor fixo deve permanecer estático por no mínimo 4 horas para captar com a finalidade de sincronizar com o número máximo de satélites, estabelecendo assim uma maior precisão. A sobreposição de nuvens pode afetar o recebimento do sinal pelos receptores.

As fotos foram tratadas no programa PIX4D processadas e sobrepostas gerando uma precisão de 0.0023m (Figura 5.3). Média de 62.618 pontos interpolados para a geração da imagem final, com a calibração de cerca de 308 imagens.

As distorções localizadas nas bordas são referentes a baixa qualidade das fotos para interpolação, gerando erro de sobreposição (Figura 5.4). É possível observar a qualidade da imagem onde a sobreposição ultrapassou o overlapping de 5 fotos, e a perda da qualidade em overlapping menores que 3 fotos.

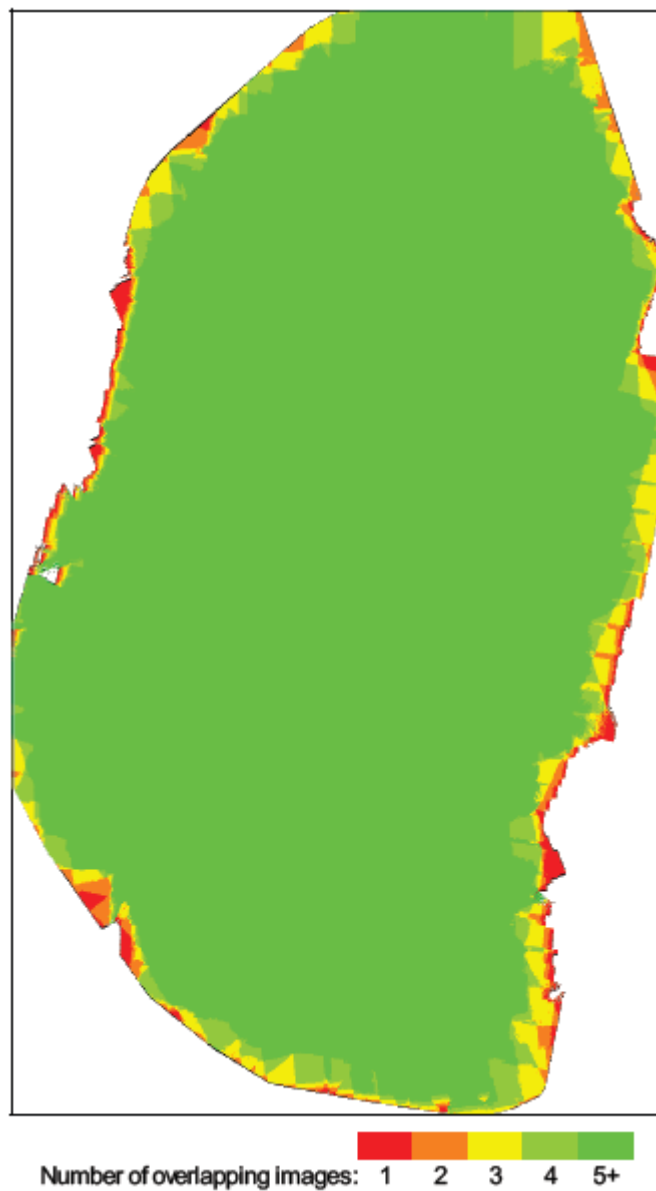


Figura 5.4 - Qualidade da imagem ancorada ao overllaping obtido com o imageamento de Drone.

5.2 CARACTERIZAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA ÁREA

5.2.1 Análise da Suscetibilidade de MGM na área de estudo

O contexto geomorfológico traduz a partir do relevo uma abordagem cronológica do material da cobertura superficial e os processos exógenos que ocorrem na região, pois estes revelam as dimensões das alterações ambientais no espaço urbano. O distrito sede de Ouro Preto foi implantado em um vale limitado pela Serra de Ouro Preto ao norte e a Serra do Itacolomi ao sul (Figura 5.5), por onde corre o Ribeirão do Funil (Gomes *et al.*, 1998; Fugimoto, 2005).



Figura 5.5 - Imagem Google Earth 2018 do Distrito Sede de Ouro Preto, entre as Serras de Ouro Preto e a Serra do Itacolomi. (Fonte: Tavares, 2018).

Na carta Geomorfológica, elaborada por Xavier (2018), desenvolvida em escala 1:25.000, é possível observar que a área está localizada em uma região classificada como Morro, o que implica inclinação do terreno acima de 15° e amplitude entre 100 e 300 metros, à SW da área é observável a presença de morrotes. Relata ainda que a morfologia local é caracterizada por altas escarpas e montanhas representando cerca de 75% de todo o sítio urbano da Cidade.

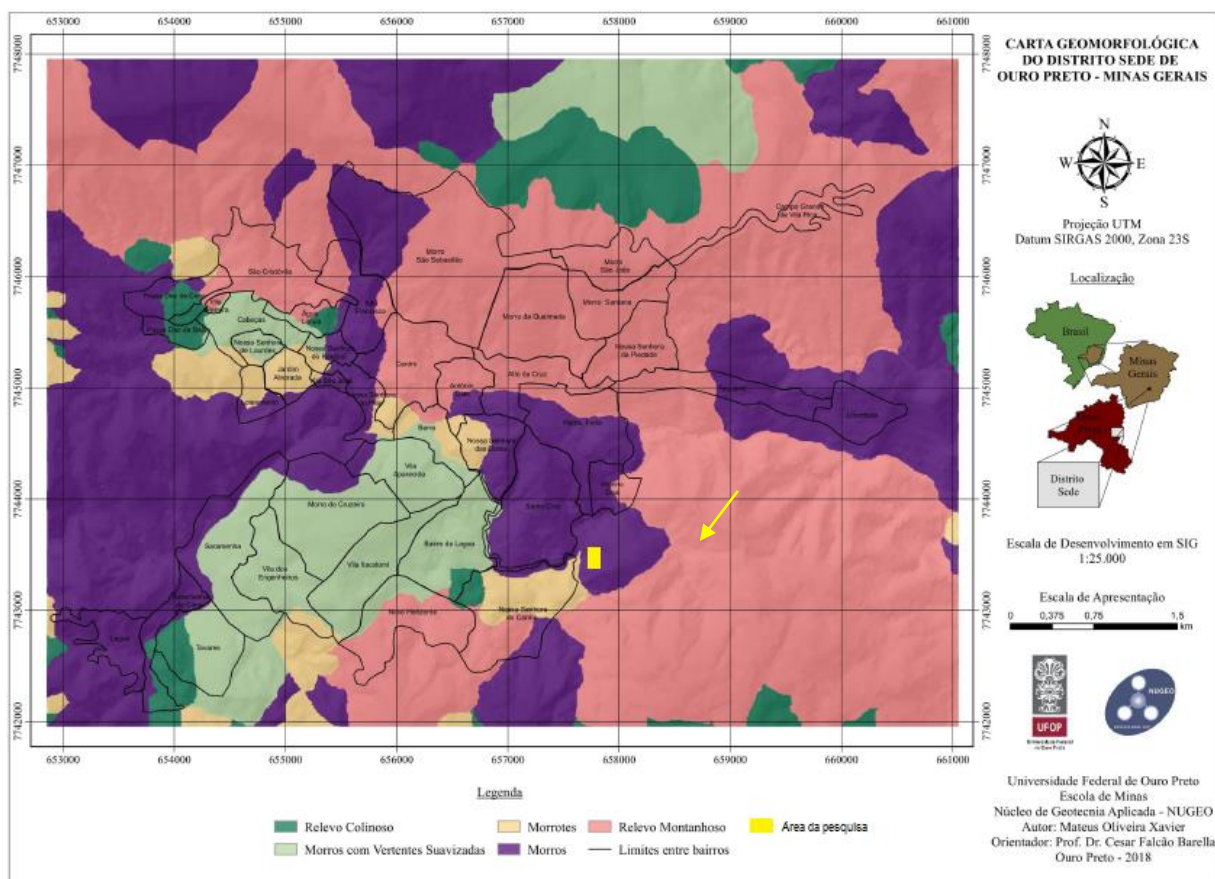


Figura 5.6 - Carta Morfológica do Distrito Sede de Ouro Preto (Xavier, 2018).

Segundo Fell *et al.* (2008), o estudo da suscetibilidade do terreno aos processos geodinâmicos (movimentos de massa, erosões, subsidência) é fundamental para análise de implantação de empreendimentos. As análises da possibilidade destes processos ocorrem em uma área e devem ser realizadas com base nas condições do terreno local, onde a suscetibilidade não considera, de forma explícita, a probabilidade de ocorrência, pois essa também depende de recorrência de fatores de disparo como a pluviosidade.

A carta de suscetibilidade utilizada no trabalho foi elaborada por Xavier (2018) a partir de métodos quantitativos, diminuindo assim a subjetividade. Com o intuito de verificar a suscetibilidade na área de estudo, foi realizada uma análise cartográfica com refinamento em campo, tendo como apoio a carta de suscetibilidade de Xavier (2018).

Para análise de suscetibilidade, adotou-se a proposta de Aleotti e Chowdhury (1999), baseada no cruzamentos de dados cartograficos e de imagens satélites existentes associados a averiguação em campo. Dessa forma, foi realizada primeiramente combinação de mapas geológicos, geomorfológicos,

e imageamento de VANT, sobrepostos da área de estudo. Assim, foi realizada o processo e modelagem descritos a seguir.

5.2.2 Processamento de dados e modelagem

A avaliação foi feita no perímetro do campo, utilizando com o apoio da interpretação de fotografias aéreas. Em seguida foram identificadas cicatrizes de movimentos de massa na área.

Os documentos cartográficos inventariados foram:

- Imagem satélite da área pelo programa *Google Earth Pro* em alta resolução;
- Imageamento de Vante realizado na área;
- Base vetorial das Unidades Geomorfológicas na área 1:25.000 (Xavier 2018);
- Base vetorial das Unidade Geológicas – na carta litológica simplificada do distrito sede de Ouro Preto. Lobato *et al.* (2005);

As imagens obtidas pelo imageamento de VANT foram utilizadas para se extrair informações utilizando o software ArcGis, versão 10.6.1, com a finalidade de desenvolver modelo para análise das características geológico-geotécnicas da área de estudo.

O arquivo de extensão “.las” gerado no software AutoCad, através do processamento dos dados obtidos pelo Drone Phantom IV, programado e processado através do software Pix4dmapper Pro versão 4.2.25, gerou um mapa topográfico de curvas de nível com espaçamento padrão de 1 m e precisão 0,023 metros. Esse arquivo em formato “.las” foi transformado em arquivo com formato “.shp” no software ArcGIS, onde aliado aos dados de SRTM, foram extraídas as elevações e as curvas de nível transformados em um projeto completo com extensão “.mxd”. O ArcScene versão 10.6.1 foi utilizado para produzir uma animação em 3D da área de modo a se tornar mais didático.

A caracterização do relevo e da topografia foi realizada através da ferramenta Tin e Slope no programa ArcGis, módulo funcional ArcToolbox. Foi realizada também a Modelagem Espacial da área de estudo à partir da inter-relação das informações obtidas, com o objetivo de analisar a evolução espacial, comparando-as com imagens retiradas em períodos de tempos distintos no *Google Earth Pro*.

A ferramenta Slope foi utilizada para a obtenção inclinação em porcentagem com variação de 0 a 30% (Figura 5.7). O intervalo considerado crítico está classificado entre 0 e 30%. Os valores acima de 30% foram descartados devido à inconsistência da leitura no varrimento dos sensores do VANT, que consideram a copa das árvores e altos de construções como sendo uma diferença brusca na altimetria em relação ao nível do solo do terreno.

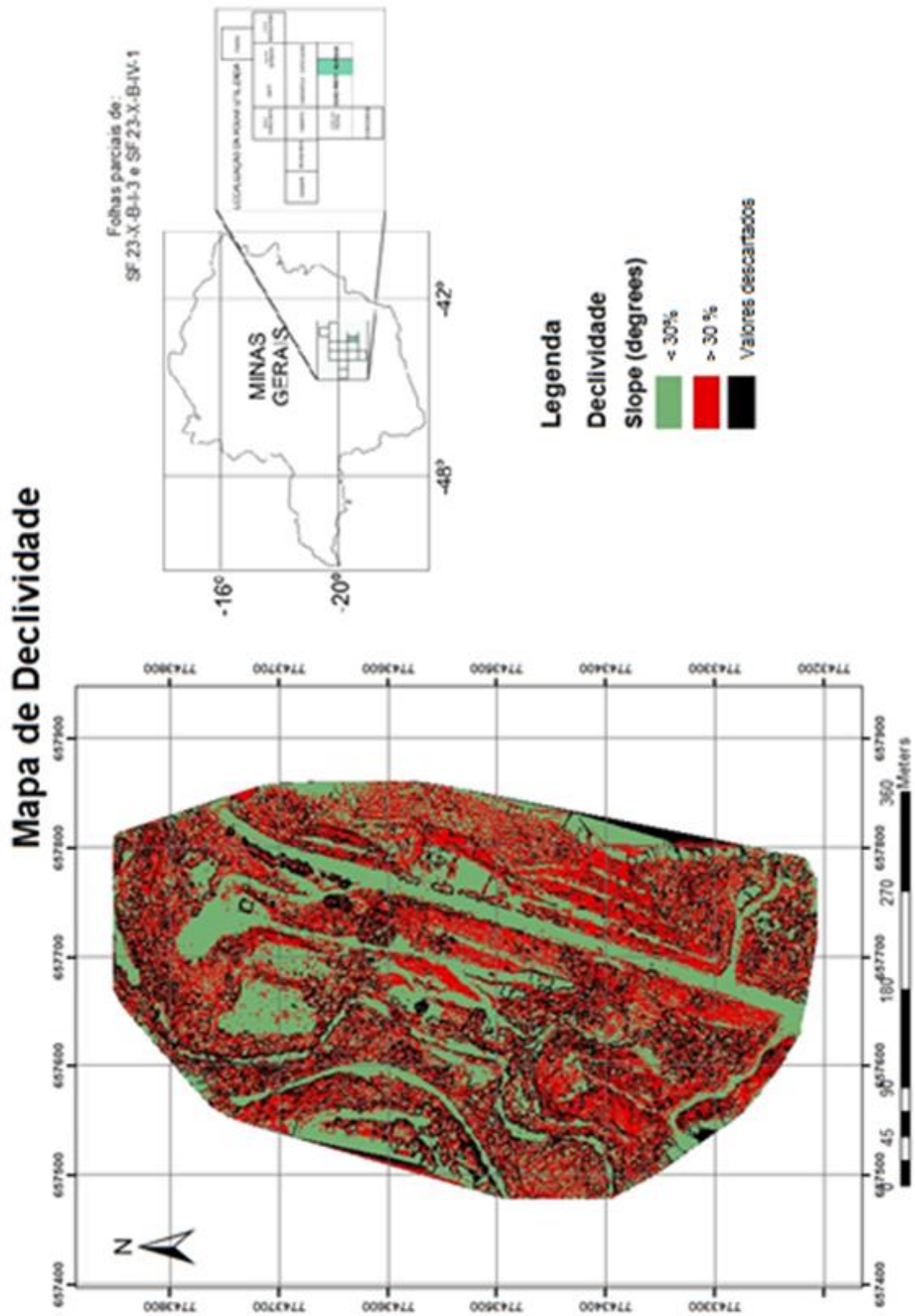


Figura 5.7 - Mapa de declividade.

Os parâmetros de índice crítico seguem o padrão adotado pela Lei Federal nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999, no que tange ao planejamento das áreas urbanas e delimita um nível de declividade crítica de 30%. A declividade apresenta papel relevante na análise pois está intimamente correlacionada a ocorrência de movimentos de massa.

Aliada à esta, também foi utilizada a ferramenta TIN que forneceu os dados da elevação do terreno que varia da cota mínima 1026,4 a 1110,98 metros (Figura 5.8).

A Análise Espacial permitiu a combinação de informações temáticas (vetorial ou matricial), através da aplicação de operadores espaciais lógicos, onde funções espaciais utilizam os atributos espaciais para realizar diversas operações e modelagem.

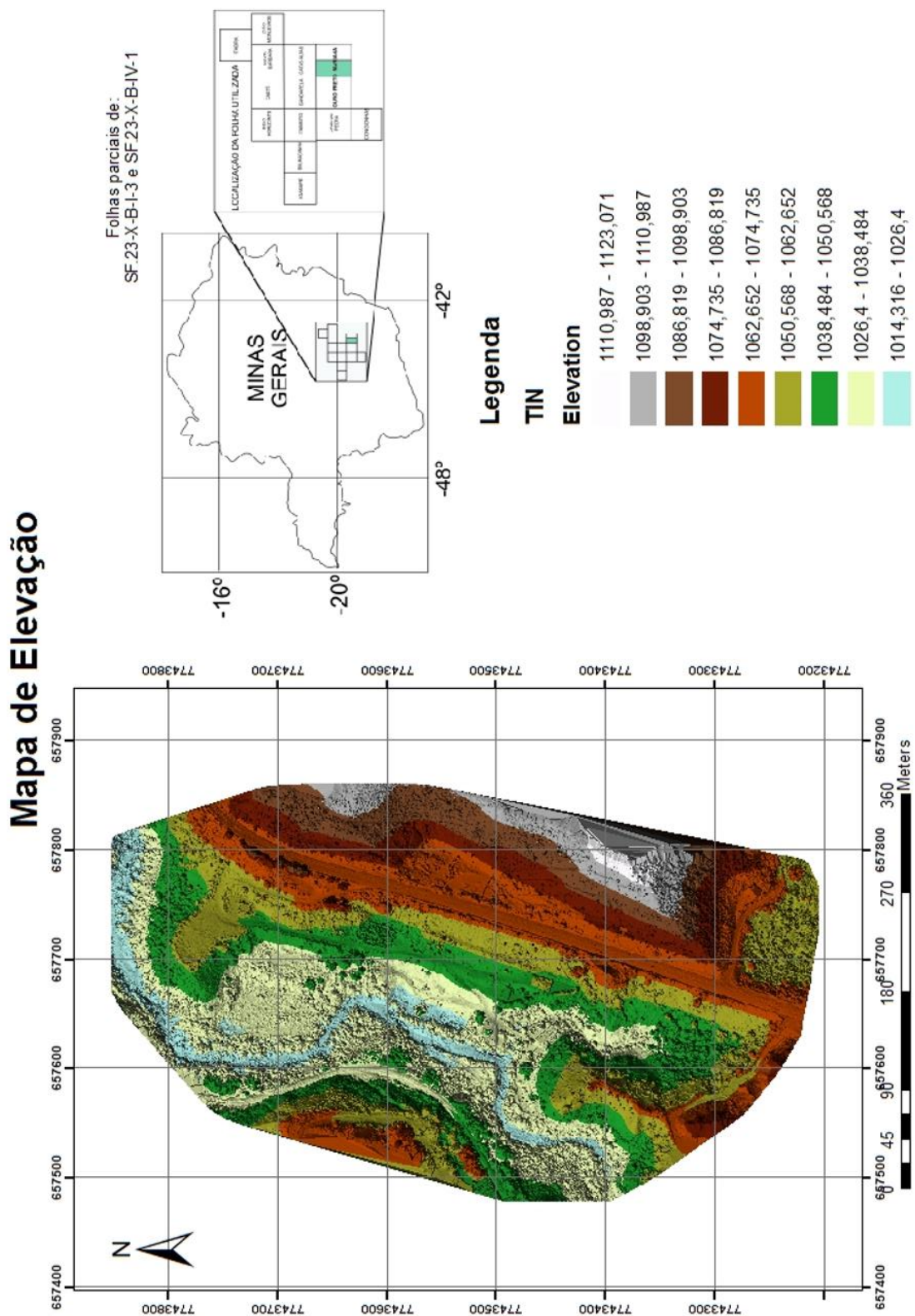


Figura 5.8 - Mapa de elevação elaborado por Reis (2019).

A partir da análise e interpretação visual das imagens obtidas foi possível observar a importância da análise e o conhecimento geológico na região estudada, há indícios da presença de um par de falhas na região (Figura 5.9), chamando a atenção para o desvio abrupto provocado no Ribeirão do Carmo gerando uma forma retangular, sendo uma dessas falhas em direção a ETE.

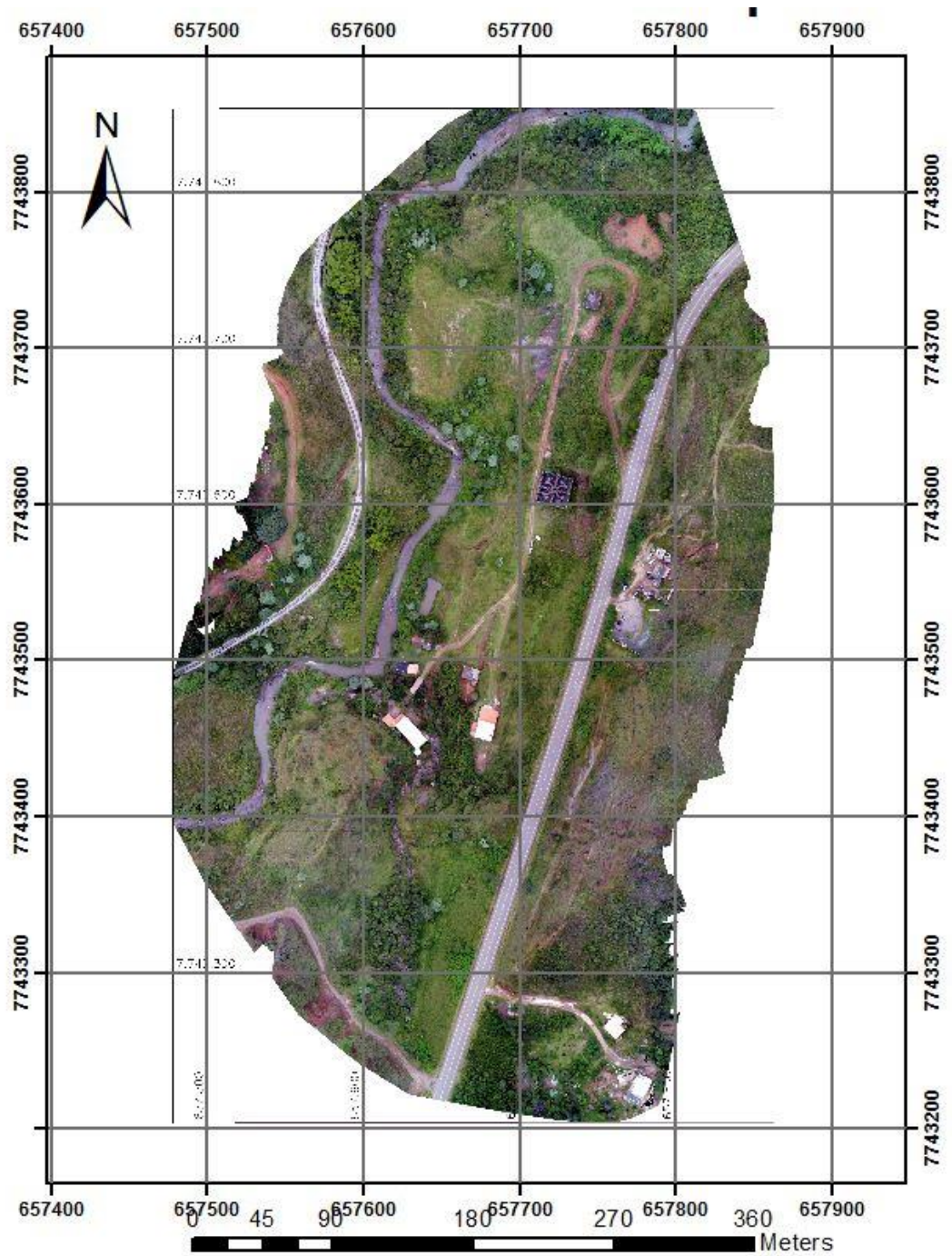




Figura 5.9 - Foto aérea em alta definição da área indicando par de falhas em vermelho.

Com intuito de verificar os mecanismos dos processos geodinâmicos considerados e das características do meio físico condicionantes (descontinuidades), foram demarcados pontos de investigação na área para análise e verificação dos litotipos, identificação de processos geodinâmicos existentes e sua magnitude, com o foga nas áreas com históricos de problemas de deslizamentos.

Na área da ETE foram encontrados praticamente todos os tipos de movimentos gravitacionais. O quadro abaixo (Tabela 5.1) apresenta os diversos tipos destes movimentos e suas características na área.

Tabela 5.1 - Tipos de movimentos e características gerais encontrados na área.

Foto	Tipo de Movimento	Tipo de Rocha	Características gerais
	<p>Escorregamento Translacional</p>	<p>Xisto</p>	<p>Localizado na porção NW da área com declividade acima de 30% e possui área de aproximadamente 40m².</p>
	<p>Queda de blocos</p>	<p>Quartzito</p>	<p>Localizado na porção SW da área com declividade acima de 30%</p>

	<p>Escorregamento</p>	<p>Filito</p>	<p>Localizado na porção central da área com declividade acima de 30%.</p>
	<p>Rastejo</p>	<p>Solo</p>	<p>Abrange quase todo o quadrante SE da área com declividade acima de 30%. Estrutura em degraus, típico do rastejo.</p>

Possui vegetação baixa e rasteira, conforme observado em campo. Unindo-se os fatores inclinação e vegetação pode-se assumir estado de alerta quanto a situação do terreno como pode ser observado na Figura 5.10.



Figura 5.10 - Seta indica plano vertical em relação ao tronco de árvore de pequeno porte, característica típica de movimento de rastejo. Fonte: acervo pessoal.

Notou-se a presença de voçorocas e ravinas na parte central e leste do terreno, em franco estado de evolução. A voçoroca da Figura 5.11 tem aproximadamente 7 metros de comprimento e 2 metros de profundidade.



Figura 5.11 - Processo de voçorocamento na área abaixo da ETE. Fonte: acervo pessoal.

A Figura 5.12 ressalta uma ravina de aproximadamente 15 metros, que decorre de uma manilha instalada a beira da rodovia para o escoamento da água, sendo direcionada em direção ao

talude que sofre com a erosão e transporte de sedimentos à jusante. Presença de lixo no local (Figura 5.13), que influencia canalização da água e favorece o processo de ravinamento.



Figura 5.12 - Ravina de aproximadamente 15 metros de comprimento. Pontilhado amarelo indica lateral da ravina e seta azul indica o sentido do fluxo d'água. Fonte: Acervo pessoal.



Figura 5.13 - Lixo jogado na base da ETE por moradores locais a fim de impedir o processo de erosão acelerado. Fonte: acervo pessoal.

É possível observar na Figura 5.14 que a obra encontra-se em completo estado de abandono, em meio à área de alta suscetibilidade à movimentos gravitacionais de massa, e à proliferação de insetos e animais peçonhentos, que podem se tornar vetores de doenças contagiosas.



Figura 5.14 - Situação de abandono da estrutura, com água parada e lonas de contenção removidas pelos movimentos gravitacionais de massa. Fonte: acervo pessoal.

A última fase do estudo tratou-se da análise de dados geológico-geotécnicos, tendo como base as taxas de declividades do terreno, associados às unidades geológicas, os respectivos litotipos, as unidades geomorfológicas do terreno na área, a identificação de processos geodinâmicos como MGM e erosões.

Aproximadamente 90% da área é classificada como tendo alta suscetibilidade a escorregamentos, é possível observar que a área no mapa (Figura 5.15) de coloração amarela basicamente pertence a planície de inundação do ribeirão do Carmo, significando que o restante da área se encontra em estado de alerta.

O resultado reafirma a importância das cartas de suscetibilidade que conforme Freitas (2000), refletem a variação (em forma e grau) da capacidade dos terrenos em desenvolver determinado fenômeno geológico.

A carta de suscetibilidade de Xavier (2018), na escala 1:25.000, representa a realidade encontrada em campo na área de estudo. Isso comprova que a delimitação cartográfica se faz a partir do conhecimento dos mecanismos dos processos e as características do meio físico condicionantes e

indutoras de seu desenvolvimento (Freitas, 2000). Dessa forma, as cartas suscetibilidade com escala de 1:25.000 têm abrangência geral, apresentam uma análise inicial do meio físico de uma região referente aos riscos geológicos e catástrofes naturais.

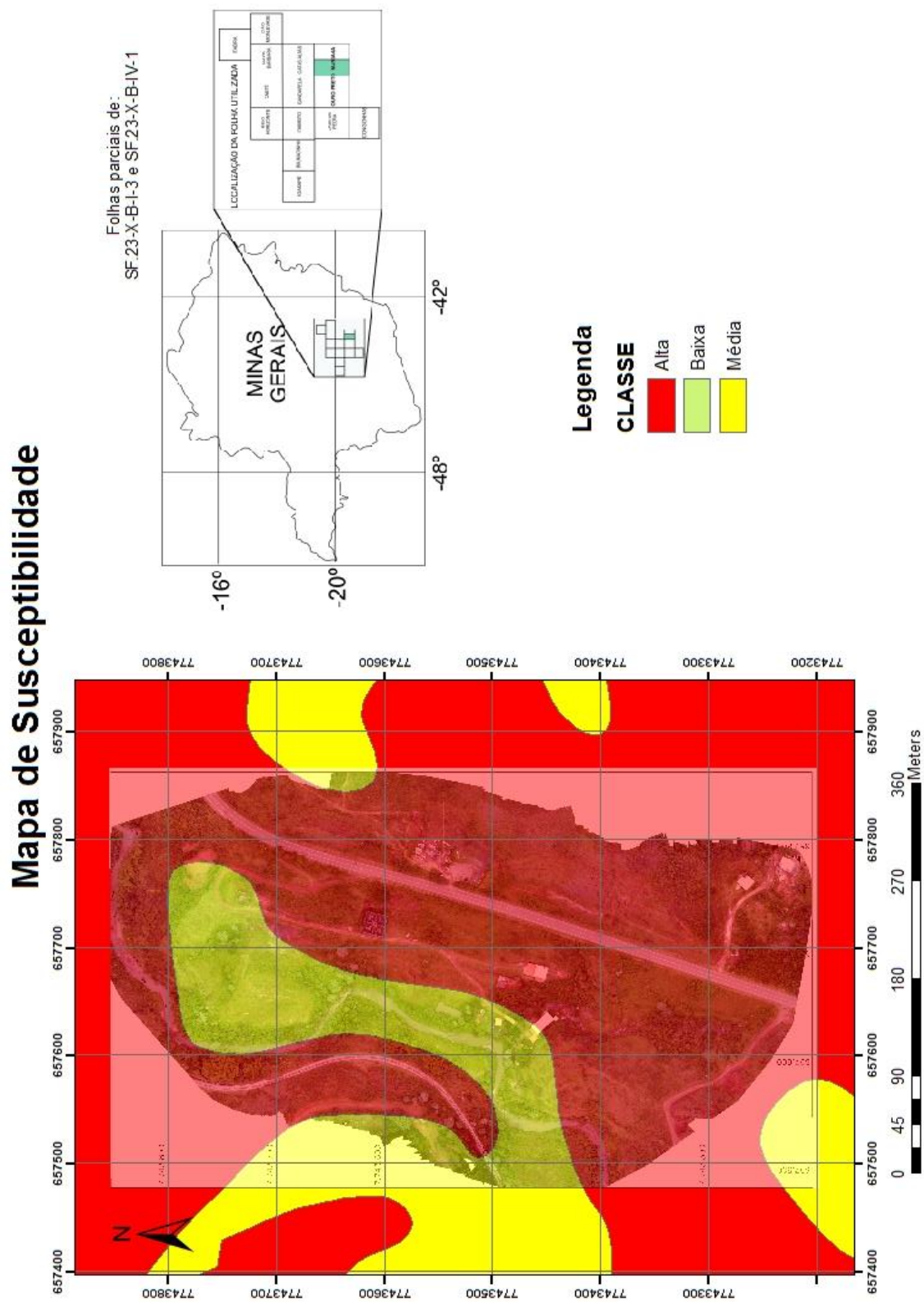


Figura 5.15 - Mapa de susceptibilidade a escorregamentos.

5.2.3 Análise temporal fotointerpretativa

Conhecer o histórico de movimentos de massa na região estudada é um passo importante no mapeamento das possíveis áreas a serem atingidas. Diversos autores desenvolveram estudos levando em conta informações semelhantes, como registros de movimentos de massa remotos e recentes. As novas tecnologias de Sensoriamento Remoto (SR) têm sido largamente aplicadas nestes estudos, além das ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) na geração de mapeamento de áreas de risco geológico.

Conforme descrito na cronologia da ETE Osso de Boi (2.1), ocorreu um deslizamento do talude à montante da construção ocorrido durante sua execução em 2011. Com intuito de verificar a causa do escorregamento e sua evolução após a ruptura, foi realizada análise da área da ruptura a partir de imagens históricas do “software” *Google Earth Pro*, buscou-se identificar o movimento de massa, principalmente, através da forma da vertente e da cicatriz deixada no terreno.

A interpretação da feição foi realizada a partir da observação do que existe entre as feições e seu entorno. Para isso foi realizada a identificação de deslizamento pelo contraste das diferenças espaciais existentes entre o movimento de massa e seu entorno. A rigor os deslizamentos afetam a morfologia, drenagem e condições da vegetação. Assim, foi adota a metodologia de Vanacôr (2006) a partir da observação direta de:

- mudanças na cobertura vegetal (diferentes densidades e tipos de vegetação devido a escorregamentos anteriores);
- uso do solo (remoção de vegetação por ação antrópica em áreas propícias a deslizamentos ou corte de estradas);
- e quebra da morfologia da encosta

Foram analisadas imagens obtidas no programa *Google Earth Pro* variando no tempo. Os períodos escolhidos foram baseados na qualidade da imagem, presença de nuvens, nitidez da cobertura vegetal, remoção da cobertura vegetal, instalação da ETE e obras de contenção. As imagens selecionadas são datadas de: 05/2008, 04/2011, 09/2012, 05/2013, 07/2015, 03/2016 e 03/2017, e foram comparadas com a imagem obtida pelo VANT de abril de 2018 na execução do presente trabalho. Ressalta-se que não foram encontradas imagens no período de 2008 a 2010.

As curvas de nível e a rede de drenagem serviram de auxílio para diferenciar os deslizamentos de locais com solos arados ou sem cobertura vegetal. De antemão, foi observado em campo a forma da cicatriz que o movimento deixou no terreno e que as massas deslizadas fluíram em direção aos eixos de drenagem.

A primeira imagem identificada anterior ao escorregamento foi do ano de 2008 (Figura 5.16). A ausência de vegetação de porte facilitou a análise, onde não foi observada nenhuma cicatriz de movimento de massa na área do escorregamento identificado em campo conforme aponta a figura.

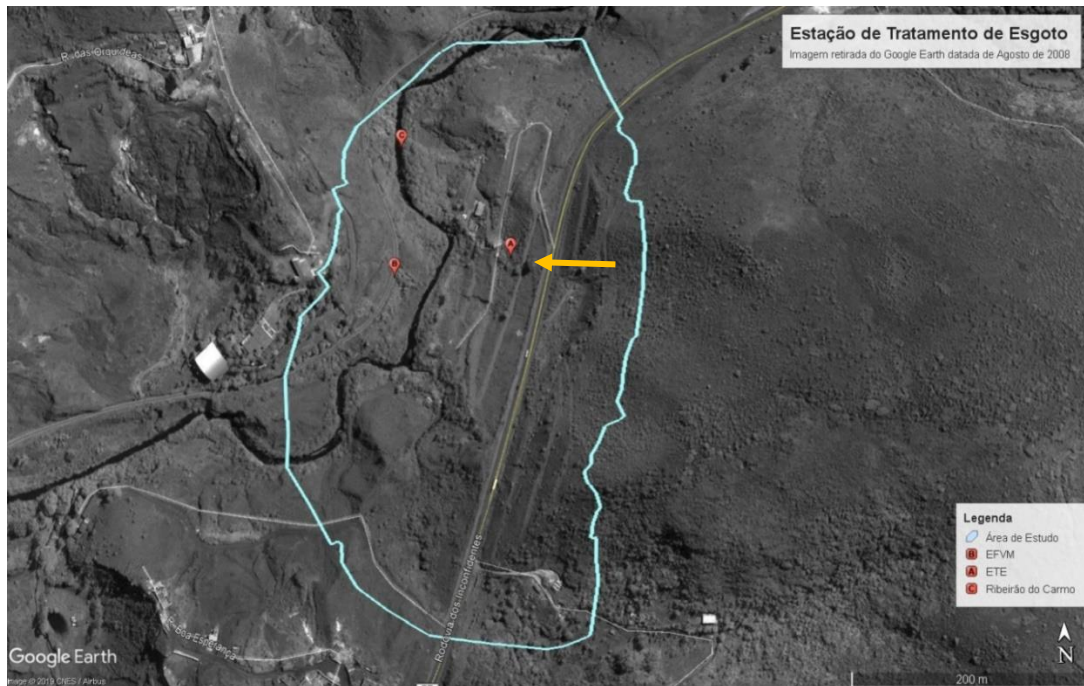


Figura 5.16 - Imagem satélite datada de 2008 retirada do Google Earth antes da construção da ETE, apontando a área onde ocorrerá o escorregamento.

A Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) Osso de Boi iniciou sua construção em 2010. Na imagem de 2011 representada pela Figura 5.17, mostra a movimentação de solo gerada pela construção da obra, com abertura de vias e terraplanagem, evidenciando o papel antrópico e sua influência no aumento a suscetibilidade a movimentos de massa em um dado local.



Figura 5.17 - Imagem satélite de 2011 retirada do Google Earth durante a construção da ETE. Seta indica talude onde ocorreu o escorregamento.

A Figura 5.18 mostra a evolução da área da superfície de deslizamento no decorrer da implantação da obra. Nota-se que a partir de 2011 houve um aumento significativo na área da superfície de deslizamento. Esse incremento pode ser explicado pela ruptura do talude, no qual sua crista afetou a pista da rodovia que levam ao aumento da declividade da porção superior do talude.



Figura 5.18 - Imagem satélite retirada do Google Earth 2012 após a construção da ETE. Seta indica obras de caráter paliativo no local.

A realização de obras de contenção no ano de 2012, após a construção da Estação de Tratamento de Esgoto, demonstra o caráter paliativo e não preventivo na construção da ETE, denotando a falta de planejamento para a implementação de uma obra desse porte que abrange a afeta o município e distritos.

A imagem do Vant, gerada em 2018 (Figura 5.19), apresenta além do escorregamento analisado (em amarelo), notou-se vários pontos de escorregamento (em vermelho) que foram verificados em campo, já analisado no item (5.2.1).



Figura 5.19 - Imagem do VANT gerada em 2018 com as setas indicando cicatrizes de escorregamentos que ocorreram na área.

A partir das análises realizadas, é possível associar a cicatriz do movimento ocorrido em 2011, que afetou a rodovia gerada pela construção da edificação, que ao ser implantada desestabilizou a base do talude, favorecendo a ocorrência do movimento gravitacional de massa, uma vez que, não foi verificada cicatriz de movimento de massa em imagens anteriores à esse período.

A disposição espacial das discontinuidades existentes na rocha é fator condicionante à ocorrência de eventos de movimento gravitacional de massa, como queda de blocos e rupturas. Aliado aos grandes volumes de chuva, a área apresenta vários pontos de escorregamento gerado pela movimentação do solo realizada na implantação da ETE.

5.3 HIDROGRAFIA

A área da pesquisa se encontra dentro do contexto da Bacia do Rio Doce, a sub-bacia do Ribeirão do Carmo está posicionada na bacia do rio Piranga, que por sua vez está inserida na Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) Doce 1 (DO1) (Semad, 2010), englobando os municípios de Ouro Preto e Mariana, com uma área superficial equivalente a 2.304 km² (CPRM, 1994). Além do histórico de garimpo e assoreamento, os resíduos das atividades humanas, bem como os industriais, são lançados sem tratamento nos tributários do Ribeirão do Carmo, acarretando contaminação direta e crescente ao longo dos anos, afetando dessa forma a saúde da população e o meio ambiente ao qual está inserido.

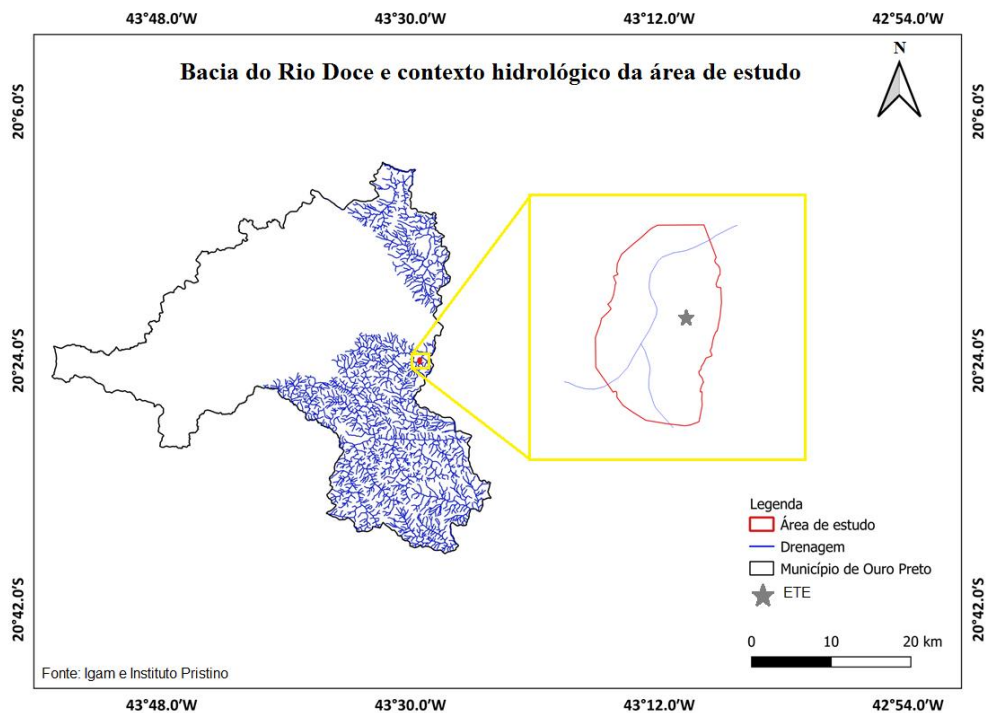


Figura 5.20 - Contexto ao qual está inserida a bacia do Ribeirão do Carmo.

A área destinada a Estação de Tratamento é inadequada, pois não contemplará toda a população pertencente ao Distrito Sede de Ouro Preto, uma vez que topograficamente a estrutura foi implantada em região mais elevada do curso do rio, somente os bairros da região oeste e sudoeste, por exemplo: Centro Histórico, Barra, Rosário, Bauxita, dentre outros. Já os bairros da região noroeste não seriam atendidos, sendo eles por exemplo: Padre Faria, Piedade, Alto da Cruz, Morro do Santana, dentre outros. Neste contexto, os fatores analisados levaram ao questionamento a viabilidade da área escolhida.

Dessa forma, haveria necessidade de construção de uma estação elevatória para encaminhar os efluentes gerados pela região noroeste para receberem o tratamento adequado, seria possível também a construção da ETE mais a jusante do Rio, onde seria possível captar todo o material descartado.

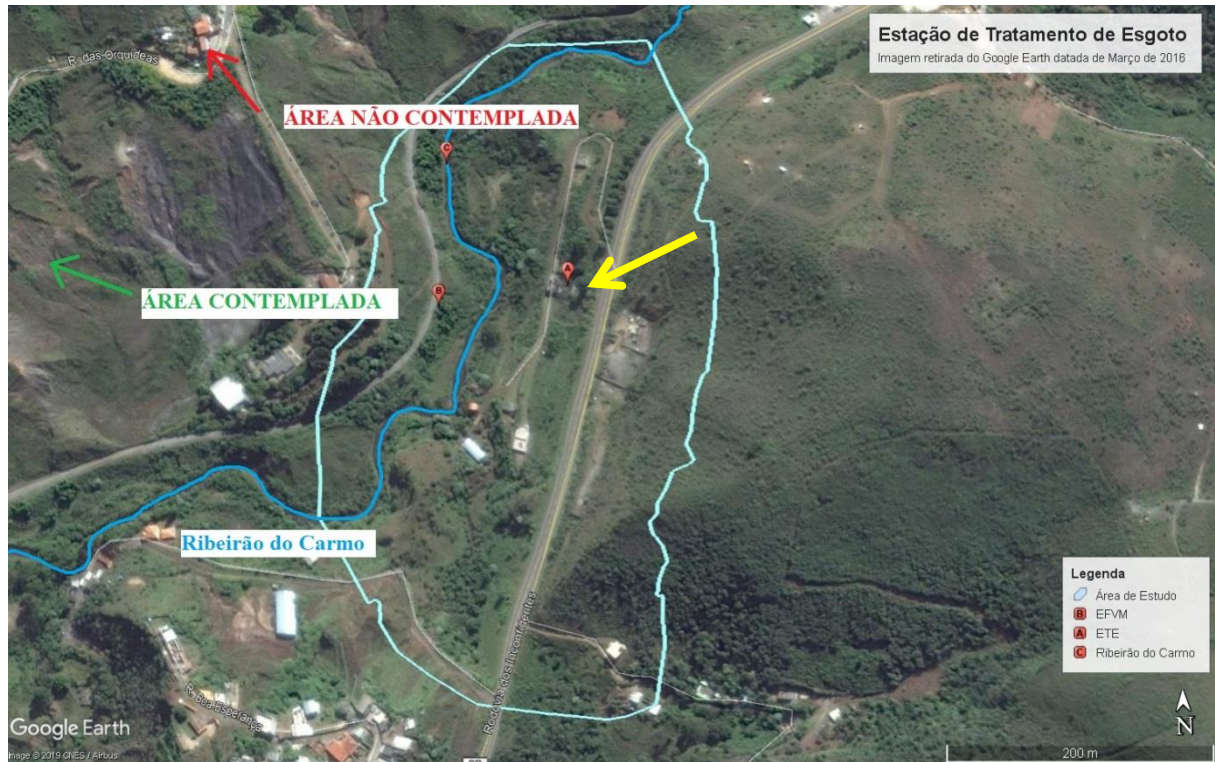


Figura 5.21 - Contexto ao qual está inserida a bacia do Ribeirão do Carmo. Seta amarela indica a ETE.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

A área de estudo foi identificada com alta suscetibilidade de Movimento Gravitacional de Massa (MGM). Conseqüentemente, a execução de obras de infraestrutura sem critério de execução em relação às características geotécnicas na área continuará desencadeando movimentos de massa.

A análise feita com imagens de alta resolução permitiu uma avaliação de extrema acurácia. Dessa forma, sua aplicação deve ser uma ferramenta importante na prevenção de movimentos de massa, se tratando de obras de infraestruturas, principalmente na área urbana.

A localização da ETE Osso de Boi apresenta conflito de uso e ocupação com as infraestruturas existentes, sendo elas Rodovias, gasodutos, ferrovia existente.

Outra questão relacionada à localização, refere-se à operação da ETE, que para atender o distrito sede terá que instalar uma estação elevatória para bombear o esgoto coletado dos bairros da região noroeste como por exemplo Padre Faria, Piedade, Alto da Cruz, Morro do Santana, dentre outros. Sua localização geográfica possibilita a coleta por gravidade o esgoto gerado apenas dos bairros da região oeste e sudeste dentre eles, Barra, Rosário Bauxita. Para uma coleta por gravidade poder atender os bairros do distrito sede como um todo a ETE teria que estar localizada abaixo da Cachoeira do Bigode.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleotti, P. E. Chowdhury, R. (1999). *Landslide hazard assessment: summary review and new perspectives. Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, v. 58, n. 1, p. 21-44.
- Alkimim, F.F; Marshak, S. *Transamazonian Orogeny in the Southern São Francisco Craton Region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrífero*. 1998.
- ANTT. Transporte Ferroviário. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/carga/ferroviario/ferroviario.asp>. Acesso em junho de 2018.
- BRASIL. Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.036, de 11 de maio de 1990, 8.666, de 21 de junho de 1993, 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; revoga a Lei no 6.528, de 11 de maio de 1978; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 05 jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm>. Acesso em setembro 2019.
- Boletim estatístico Confederação Nacional do Transporte (CNT) fevereiro 2019. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/boletins>. Acesso em abril de 2019
- Câmara, G.; Davis.C.; Monteiro, A.M.; D'Alge, J.C. *Introdução à Ciência da Geoinformação*. São José dos Campos, INPE, 2001.
- Corteletti, R.C. Proposta de metodologia para análise de risco geológico-geotécnico em ferrovias: Estudo de caso: Estrada de Ferro Carajás (EFC). Tese (Doutorado) Escola de Minas. Núcleo de Geotecnia. UFOP. Ouro Preto. 2014.
- Corteletti, R.C.; Filgueiras, R.A.C. Projeto de contenção da encosta do morro do Itararé - Associação dos Funcionários da Baixada Santista. São Vicente, SP. Vale Fertilizantes. 2015.
- CPRM (Serviço Geológico do Brasil). 1994. Gerenciamento Integrado da Bacia do Rio Doce: Diagnóstico, Plano Diretor, Simulação Financeira. Projeto Rio Doce, Ministério das Minas e Energia, 254p.
- Davis, C. J. Gis: Dos conceitos Básicos ao Estado da Arte. In: Anuário Fator GIS 97, C1-C4, Editora Sagres, 1997.
- Diagnóstico dos serviços de Água e Esgotos 2017. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em agosto de 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte. Sistema nacional de viação. Disponível em: <http://www.dnit.gov.br/sistema-nacional-de-viacao/snv-2014-1>. Acesso em março de 2018.
- Dorr J.V.N., Gair J.E., Pomerene J.B., Rynearson G A. 1957. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. Rio de Janeiro, DNPM/DFPM. Avulso 81. 31 p.
- Dorr J.V.N. 1969. *Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil*. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 641-A, 110 p.
- Fell, R.; Corominas, J.; Bonnard, C.; Cascin, L.; Leroi, E.; Savage, W.Z. *Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Engineering Geology* 102. 2008.

Reis, P. C. L. 2020, Identificação dos Movimentos Gravitacionais de Massa (MGM) dos Taludes da BR 356...

Fernandes, F., Cerri, L. Elaboração da Carta Geotécnica de Suscetibilidade de um Trecho Da Rodovia Marechal Rondon - SP-300 (SP, Brasil). *Geosciences Geociências*, Brasil, v. 30, n. 3, p.456-465, 2011. Disponível em: <http://www.Periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/view/5562>. Acesso em: janeiro. 2013.

IBGE. Projeção da população do Brasil em 2018. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao/> Acesso em maio de 2018.

Lobato, L.M., Baltazar, O.F., Reis, L.B., Achtschin, A.B., Baars, F.J., Timbó, M.A., Berni, G.V., Mendonça, B.R.V. & Ferreira, D.V. (2005). Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. CODEMIG. Belo Horizonte, MG.

Morita, H. Revisão do método análise hierárquica – MAH (AHP – Analytic Hierarchy Process). 1998. Dissertação de Mestrado Universidade Federal de São Paulo, USP.

Pereira, L. O Tratamento de Esgoto Em Ouro Preto: Aspectos Históricos E Técnicos Dos Séculos XIX ao XXI. 2018. Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP.

Reis, J.S. Solos Ferruginosos em Áreas de Canga, Sinclinal do Gandarela, Quadrilátero Ferrífero. Cusco. 2014.

Rodrigues-carvalho, J.A. Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil. In: Simpósio Brasileiro De Cartografia Geotécnica, 3, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: ABGE/UFSC/LAMGEO (cd), 1998.

Rodrigues, A.C.M. Aplicação de Processo Hierárquico na escolha de traçados de Dutovias. Paraná: Instituto de Engenharia de Tecnologia, Departamento de Engenharia, 2009. Secretaria Estadual de Meio Ambiente e Desenvolvimento (Semad). 2010 (b). Plano Integrado De Recursos Hídricos Da Bacia Hidrográfica Do Rio Doce E Planos De Ações Para As Unidades De Planejamento E Gestão De Recursos Hídricos No Âmbito Da Bacia Do Rio Doce: Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão DO1 (PARH PIRANGA). Belo Horizonte. Instituto Mineral de Gestão das Águas - Consórcio Ecoplan-Lume, 125p.

Sobreira, F. G.; Souza, L. A. de. Cartografia geotécnica aplicada ao planejamento urbano. *Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental*, v. 2, p. 79-97, 2012. Disponível em: <https://www.abge.org.br/volume-2-n-1>. Acesso em: 20 nov. 2019.

SUPRAM. Parecer Único SUPRAM CM N.º 136/2009. Belo Horizonte, 2009.

Tavares, V.L.S. Proposta de Metodologia para índice de Risco (iR) no Distrito Sede do Município de Ouro Preto/MG: Uma contribuição para a hierarquização das áreas de risco e as tomadas de decisão. Dissertação de Mestrado. Núcleo de Geotecnia, UFOP. Ouro Preto, 2018.

TSUTYA, M.T; ALÉM SOBRINHO, P. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 2ª edição. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

USGS. *The landslide handbook – A guide to understanding landslides*. Highland, L.M., and Bobrowsky, P. (versão em português): Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular. GFDRR/World Bank. 1325. 2008.

Xavier, M. O. Mapeamento da Suscetibilidade a Movimentos Gravitacionais de Massa Utilizando a Análise Estatística do Valor Informativo Aplicada ao Distrito sede da Cidade de Ouro Preto, MG. Dissertação de Mestrado. Núcleo de Geotecnia, UFOP. Ouro Preto, 2018.

Ziegler, M. *Project calculation by means of risk simulations*. In: International Conference on Probabilistics in Geotechnics, Technical and Economic Risk Estimation, 15 – 19 September 2002, Graz, Austria / Ed. Rudolf Pöttler. Essen, p.529-538, 2002.

