UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁREA SUJEITA A RASTEJO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO, UMA ANÁLISE DA ELETRORRESISTIVIDADE.

Bruna Maria Simião Vasconcelos

MONOGRAFIA nº 503

Ouro Preto, Fevereiro de 2024

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁREA SUJEITA A RASTEJO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO, UMA ANÁLISE DA ELETRORRESISTIVIDADE.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO

Reitora

Prof.ª Dr.ª Cláudia Aparecida Marliére 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. José Alberto Naves Cocota Junior

Vice-Diretor

Prof. Dr. Cláudio Eduardo Lana

DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

Chefe

Dr. Geraldo Magela Santos Sampaio

MONOGRAFIA

Nº 503

INVESTIGAÇÃO GEOFÍSICA EM ÁREA SUJEITA A RASTEJO NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO, UMA ANÁLISE DA ELETRORRESISTIVIDADE.

Bruna Maria Simião Vasconcelos

Orientador

Prof. Dr. Lucas Pereira Leão

Co-Orientador

Prof. Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar

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 2023/2.

OURO PRETO

2024

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

V331i Vasconcelos, Bruna Maria Simião.
Investigação geofísica em área sujeita a rastejo no município de Ouro Preto, uma análise da eletrorresistividade. [manuscrito] / Bruna Maria Simião Vasconcelos. - 2024.
63 f.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Pereira Leão.
Coorientador: Prof. Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Graduação em Engenharia Geológica .

1. Geofísica. 2. Geotecnia. 3. Taludes (Mecânica do solo) - Estabilidade. 4. Movimentos de massa - Rastejo. I. Leão, Lucas Pereira. II. Bacellar, Luis de Almeida Prado. III. Universidade Federal de Ouro Preto. IV. Título.

CDU 624.137.2

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
REITORIA
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Bruna Maria Simião Vasconcelos

Investigação geofísica em área sujeita a rastejo no município de Ouro Preto, uma análise da eletroresistividade

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Geológica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Geóloga

Aprovada em 08 de fevereiro de 2024

Membros da banca

Dr. Lucas Pereira Leão - Orientador - Universidade Federal de Ouro Preto
Dra. Alice Fernanda de Oliveira Costa - Universidade Federal de Ouro Preto
Dr. Joney Justo da Silva - Universidade Federal de Ouro Preto

Lucas Pereira Leão, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 19/02/2024

Documento assinado eletronicamente por **Lucas Pereira Leão**, **PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 19/02/2024, às 17:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0 , informando o código verificador **0669830** e o código CRC **BBE4CCC7**.

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35402-163
Telefone: 3135591600 - www.ufop.br

Agradecimentos

Agradeço minha família, em especial minha mãe Rogéria, minha tia Rosa Maria e as minhas irmãs Mila, Ana, Dani e Bia pelo apoio incondicional nessa etapa da vida. Aos amigos de Ouro Preto e a minha amada república Caixotinho por ser meu lar durante esses anos.

A UFOP, pelo ensino público, gratuito e de qualidade. Ao DEGEO, em especial ao meu orientador Lucas Leão e co-orientador Luis Bacellar, por me ajudarem a desenvolver este trabalho. Viva a Escola de Minas!

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 APRESENTAÇÃO 1
1.2 OBJETIVO 2
1.3 JUSTIFICATIVA 2
1.4 MATERIAIS E MÉTODOS 3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
2.1 TALUDE 8
2.2 MOVIMENTOS DE MASSA 9
2.3 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA CIDADE DE OURO PRETO – MG E MOVIMENTOS DE MASSA 13
2.4 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE 15
2.4.1 ELETRORRESISTIVIDADE 17
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO 20
3.1 LOCALIZAÇÃO 20
3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL 20
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 27
4.1 TOPOGRAFIA LOCAL 27
4.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO 28
4.3 SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE 30
5 CONCLUSÃO 35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 37

INDÍCE DE FIGURAS

Figura 1 – Eventos registrados na cidade de Ouro Preto. Extraído do site da Defesa Civil de Ouro Preto, MG. A – Deslizamento na ladeira João de Paiva, Morro São Sebastião (10/01/2022) B – Deslizamento na Rua Boa Esperança, Nossa Senhora do Carmo (09/01/2022) C – Deslizamento na Rua Amarantina, Vila Aparecida (08/01/2022) D – Deslizamento no Morro do Gambá próximo a linha de trem (08/01/2022) E – Deslizamento na Curva do Vento (24/01/2020) F – Deslizamento na Rua Padre Rolim, São Cristovão (24/01/2020)..... 3

Figura 2 - Resistivimetro utilizado, Lippmann D-94571..... 4

Figura 3 - Fluxograma de operação do resistivímetro de alta precisão Lippmann D-94571, Retirado do tutorial elaborado por Luiz Cardoso, Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada – CTGA, Universidade Federal de Ouro Preto. 5

Figura 4 - Eletrodo com sensor, posicionado de 2 em 2 metros no caminhamento pelo terreno. 6

Figura 5 - Elementos de um talude, extraída de Queiroz (2016). 8

Figura 6 - A: Escorregamento rotacional. B: Escorregamento translacional. C: Escorregamento em cunha. Extraído e adaptado de Tominaga (2015)..... 11

Figura 7 - Rastejo e seus indícios (Bloom, 1998 apud Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).. 13

Figura 8 - Adaptado de Castro (2006). A – Ocorrências de movimentos de massa no Corpo de Bombeiros de Ouro Preto no período de 1988 a 2003. B – Número de ocorrências por meses do ano. 15

Figura 9 - Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo, Braga (2001)..... 18

Figura 10 - Plotagem do arranjo dipolo-dipolo, Braga (2001). 19

Figura 11 – Localização e vias de acesso da cidade de Ouro Preto e terreno estudado. 20

Figura 12 – Retirada de Hasui (2012) p. 118..... 21

Figura 13 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Retirado de Endo *et al.* (2020), p. 74. 22

Figura 14 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Retirada de Endo et al. (2020). 23

Figura 15 - Desenvolvimento de domos e quilhas. Retirado de Endo (2020).....24

Figura 16 - Nappe do Curral. Retirado de Endo et al. (2005) p. 282. 25

Figura 17 - Sistema de Nappes do Quadrilátero Ferrírero. Retirado de Endo (2020) p. 84. ...26

Figura 18 - Topografia do terreno, utilizando o software AutoCAD 27

Figura 19 - Perfil do caminhamento A - A', usando o software Civil3D 2024. 28

Figura 20 - Embarrigamento no muro principal da residência, sob diferentes perspectivas, indicativo da direção principal do movimento. 29

Figura 21 - Desnível no piso da residência, sob diferentes perspectivas, em diversos locais da residência. 29

Figura 22 - Degraus de abatimento no terreno. 30

Figura 23- Disposição dos caminhamentos elétricos, assim como topografia do terreno.....31

Figura 24 - Resistividade da primeira linha de caminhamento (A para A'), realizada no dia 16 de Novembro de 2023. 32

Figura 25 - Valores de resistividade da primeira linha de caminhamento (A para A') 32

Figura 26 - Segunda linha de caminhamento elétrico (B para B'), traçada no dia 18 de Dezembro de 2023.....33

Figura 27 - Valores de resistividade da segunda linha de caminhamento elétrico (B para B')33

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Agentes condicionantes dos movimentos gravitacionais. Extraída de Vedovello & Macedo (2007). 9

Quadro 2 - Tipos de movimentos de massa. Extraída de Tominaga (2015), p. 28..... 10

Quadro 3 – Adaptado de Castro 2006. Índice pluviométrico ao longo dos anos da cidade de Ouro Preto, MG..... 14

Quadro 4 - Métodos geoelétricos, Braga (2001) p.2 16

Quadro 5 - Métodos Geoelétricos baseado em três critérios, Braga (2001) p. 3..... 16

Quadro 6 - Valores de cargabilidade/resistividade para os diferentes tipos de materiais, Braga (2001). 18

Resumo

A ocorrência de movimentos gravitacionais na área do município de Ouro Preto tem-se intensificado nos últimos anos com diversos danos gerados. Destacam-se a ocorrência de movimentos do tipo rastejo (*creep*), caracterizados por serem movimentos lentos associados à extremos pluviométricos. Os principais indícios observados da ocorrência destes movimentos em áreas urbanas são trincas, embarrigamentos e surgência de água, que quando observados indicam um estágio avançado do problema. Nesse sentido, é fundamental a adoção de medidas preventivas baseadas em monitoramentos geotécnicos dos fatores internos como a variação temporal e espacial da superfície freática e da deformação dos taludes. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo o monitoramento de taludes em áreas instáveis no município por meio de investigações utilizando o método geofísico de eletrorresistividade. Esse método foi utilizado no intuito de determinar a espessura do solo, a presença de blocos e matacões e da zona saturada. A área de estudo se trata de um talude íngreme no centro histórico da cidade, sendo observados na área trincas no chão e em muros, além de degraus de abatimento no material superficial. Foram realizada dois perfis de eletrorresistividade, sendo um transversal e outro longitudinal, utilizando a técnica de caminhamento elétrico e o arranjo dipolo-dipolo. Os valores de resistividade variaram muito ao longo da seção longitudinal, paralela à direção principal do rastejo, sendo que a transversal se mantém com valores próximos e baixos, por toda sua extensão. Com isso, foi possível entender melhor o movimento de rastejo como sazonal, por se tratar de um movimento influenciado por fatores como variação da temperatura, umidade e gravidade.

Palavras chave: estabilidade, geotecnia, movimentos de massa, rastejo.

Abstract

The occurrence of gravitational movements in the Ouro Preto municipality has intensified in recent years, resulting in various damages. Notably, among these movements are creep-type displacements, characterized by slow motions associated with extreme rainfall. Prominent indicators of these movements in urban areas include cracks, bulges, and water emergence, which, when observed, signify an advanced stage of the problem. Therefore, the adoption of preventive measures based on geotechnical monitoring of internal factors such as temporal and spatial variations in the water table and slope deformation is crucial.In this context, this study aimed to monitor unstable slopes in the municipality using investigations employing the geophysical method of electrical resistivity. This method was employed to determine soil thickness, the presence of blocks and boulders, and the saturated zone. The study area involves a steep slope in the historical center of the city, where cracks in the ground and walls, as well as steps of subsidence in the surface material, were observed. Two electrical resistivity profiles were conducted, one transverse and the other longitudinal, employing the electrical resistivity imaging technique and the dipole-dipole array. The resistivity values varied significantly along the longitudinal section, parallel to the main direction of creep, while the transversal section consistently maintained low values throughout its extension. Consequently, it was possible to better understand creep movement as seasonal, influenced by factors such as temperature, humidity, and gravity variations.

Key words: stability, geotechnics, landslide, creep.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

A cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, enfrenta dificuldades geotécnicas provenientes da expansão exacerbada da malha urbana municipal ao longo do tempo (Castro, 2006). A cidade possui aspectos que dificultam o desenvolvimento da urbanização como: a geomorfologia local, de vales e morros, a intensa atividade minerária, que deixou vestígios profundos nas serras da região, o índice pluviométrico e a falta de planejamento urbano.

Dito isso, atualmente é notório que a ocupação do solo foi feita de maneira errônea, em ambientes impróprios para o desenvolvimento da cidade, como por exemplo a ocupação de terrenos íngremes que sofreram com a mineração ao longo do ciclo do ouro. Estes terrenos são instáveis do ponto de vista geotécnico, pelo aspecto do maciço que está sob as construções.

Frequentemente, nos períodos chuvosos, a cidade encontra-se em estado de alerta para movimentos gravitacionais recorrentes na localidade. Esse fato pode ser atestado através das ocorrências apresentadas no site da Defesa Civil de Ouro Preto. São eles: escorregamentos, planares, circulares ou em cunha, ou rastejos.

De acordo com Tominaga (2015), rastejo é um movimento lento, contínuo que envolve grandes volumes de solo sem que haja distinção clara entre o material estacionário e o que está em movimento, onde há forte atuação da gravidade, da umidade do terreno e temperatura local. A variação da temperatura e da umidade, são responsáveis por exercer processos contracionais e extensionais na massa do terreno, o que juntamente com a gravidade provocam o deslocamento da mesma. Como não é um movimento repentino, e sim contínuo, é possível avaliar sua intensidade e prevê-lo através de marcas deixadas pelo deslocamento da massa. Essas marcas podem ser trincas, embarrigamentos, surgência de água e até tombamentos de árvores ou postes.

Existem diferentes tipos de métodos para verificar o comportamento de taludes, entre eles estão os métodos geofísicos de resistividade. Estes são capazes de registrar através de corrente elétrica como o maciço se comporta em relação à presença de blocos, nível freático entre outras características. Esse método consiste em introduzir uma corrente elétrica artificial

no terreno através de dois eletrodos da corrente, onde é medida a diferença de potencial em outros dois eletrodos, nas proximidades do fluxo de corrente, permitindo assim calcular a resistividade aparente em subsuperfície (Elis, 2002). A eletrorresistividade, foi utilizado neste trabalho, no intuito de determinar a espessura do solo, a presença de blocos e matacões e da zona saturada no centro histórico da cidade de Ouro Preto, MG.

Importante compreender que aeletrorresistividade é uma ferramenta capaz de compreender o subsolo de maneira eficaz sem que haja desgaste no meio físico, é considerada de baixo custo, onde a execução e entrega dos resultados são feitos de maneira rápida.

1.2 OBJETIVO

Esse estudo tem como objetivo geral contribuir com a temática dos movimentos de massa lentos, através da aplicação da eletrorresistividade em um terreno no município de Ouro Preto, MG, especificamente entre as ruas Xavier da Veiga e Manoel Cabral, a fim de propor medidas mitigadoras, caso essas possam ser vislumbradas.

Como objetivos específicos têm-se:

- Caracterização geológica geotécnica do talude;
- Determinação da resistividade do maciço;
- Identificação da existência de lâmina d’água;
- Definição dos condicionantes geológicos e antrópicos que causam instabilidade;

1.3 JUSTIFICATIVA

Face a necessidade de suprimir os riscos geológicos do município de Ouro Preto, é de interesse mútuo entre população e universidade desenvolver estudos de caso para entender e minimizar o impacto dos eventos corriqueiros de movimentos gravitacionais que ocorrem no município.

Como se sabe, a intensa mineração na região desde o ciclo do ouro até os dias de hoje, debilitaram as serras de Ouro Preto, com o uso e ocupação indevida do solo. De acordo com o histórico da cidade, o risco se mostra atual nos dias de hoje, por isso é importante avaliar as condições geotécnicas e o impacto atual dos movimentos. O site da Defesa Civil de Ouro Preto apresenta diversas ocorrências recentes conforme Figura 1, o que reforça a necessidade do estudo geotécnico local.

Figura 1 – Eventos registrados na cidade de Ouro Preto. Extraído do site da Defesa Civil de Ouro Preto, MG. A – Deslizamento na ladeira João de Paiva, Morro São Sebastião (10/01/2022) B – Deslizamento na Rua Boa Esperança, Nossa Senhora do Carmo (09/01/2022) C – Deslizamento na Rua Amarantina, Vila Aparecida (08/01/2022) D – Deslizamento no Morro do Gambá próximo a linha de trem (08/01/2022) E – Deslizamento na Curva do Vento (24/01/2020) F – Deslizamento na Rua Padre Rolim, São Cristovão (24/01/2020)

Dessa forma, pretende-se aplicar o uso de instrumentos capazes de prever os riscos geotécnicos e sugerir medidas que de fato auxiliem no problema, no intuito de minimizar os desastres corriqueiros no município.

1.4 MATERIAIS E MÉTODOS

De acordo com os objetivos do estudo, foi necessário o apoio dos técnicos da Defesa Civil de Ouro Preto, para seleção do talude instável a ser estudado. Para organização efetiva do trabalho, foi necessário o compartimento em quatro fases distintas de estudo, sendo elas inventário e pesquisa de dados prévios, investigação de campo, que compreende as fases de mapeamento e aquisição geofísica. Por fim, foram feitas as análises globais dos resultados. Salienta-se que estas atividades muitas vezes são realizadas concomitantemente, de acordo com a necessidade de complementação das informações obtidas.

Na primeira etapa do trabalho, foi realizado a pesquisa bibliográfica, além das análises das bases cartográficas e dos trabalhos de fotointerpretação. Em um momento

posterior, segunda etapa, houve levantamentos topográficos e geológico geotécnicos, através da setorização do maciço por mapeamento.

Na terceira etapa, realizou-se a aquisição geofísica, para entender os parâmetros de resistividade do maciço através de 2 perfis de eletrorresistividade com arranjo dipolo-dipolo e técnica de caminhamento elétrico.

Para efetuar o método de maneira eficiente, utilizou-se o resistivímetro de alta precisão Lippmann D-94571 Schaufling, conforme Figura 2, configurado no modo multieletrodo.

Figura 2 - Resistivimetro utilizado, Lippmann D-94571

Juntamente com o resistivímetro, é colocado um cabo flat com acoplagem de dispositivos de emissão de corrente e recepção de potencial elétrico, além de eletrodos de alumínio (diâmetro de 0,01 m), onde se conecta cada dispositivo, em vias de conexão de cobre. Esse sistema é ligado a um computador, por meio de um USB (e.g. Geotest, 2020), e gera, em tempo real, a seção de ρ a (resistividade elétrica aparente) e um arquivo com o banco de dados para alimentar os softwares de inversão, conforme fluxograma abaixo.

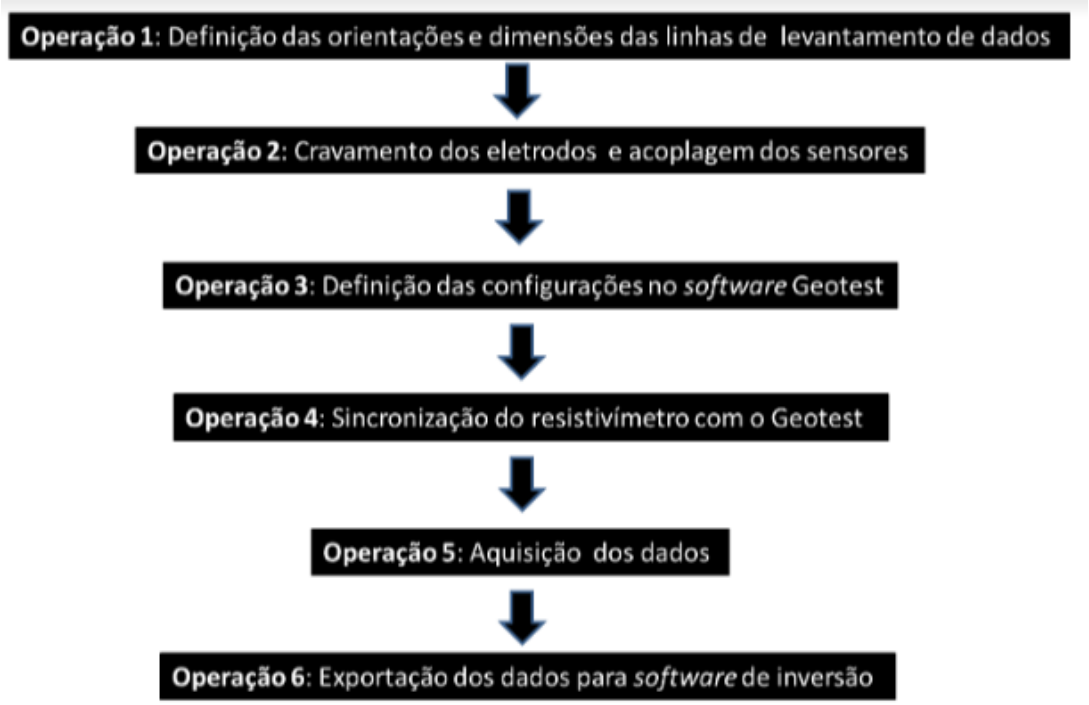


Figura 3 - Fluxograma de operação do resistivímetro de alta precisão Lippmann D-94571, Retirado do tutorial elaborado por Luiz Cardoso, Centro Tecnológico de Geotecnia Aplicada – CTGA, Universidade Federal de Ouro Preto.

Na operação 1 é preciso avaliar as características do terreno, para definir as direções do caminhamento, as dimensões da linha e espaçamento dos eletrodos. Nesse trabalho, foram utilizadas 2 direções de caminhamentos, ortogonais entre si, com linhas de 40 metros. Na operação 2, foram cravados os eletrodos de 2 em 2 metros, conforme Figura 4, banhados com solução salina para aumentar a condutividade. Além disso, foram colocados os sensores enumerados de maneira correta e feita a configuração do *software Geotest*, sendo esta a Operação 3.

Figura 4 - Eletrodo com sensor, posicionado de 2 em 2 metros no caminhamento pelo terreno.

Já na Operação 4, é a parte onde é feito o levantamento em si, onde há a comunicação entre o resistivímetro e o *software*. Na parte da Operação 5, é possível fazer a aquisição dos dados no *Geotest*, e por fim, Operação 6, onde é feita a exportação dos dados para *softwares* de inversão, no caso o RES2Dinv.

O RES2Dinv, capta o número de pontos a serem investigados em subsuperfície sendo que cada ponto possui uma profundidade teórica e que se diferencia pelo espaçamento entre os eletrodos, e os transforma em blocos para ilustrar a seção de resistividade aparente, da região a ser investigada. O software realiza a inversão através do método dos mínimos quadrados de Gauss-Newton e quasi-Newton, segue a equação:

$$(J^T)*J + uF) * d = J^T * g$$

Onde F é uma matriz de suavização, J é a matriz Jacobiana das derivadas parciais, T é a matris transposta, u é o fator de amortecimento (ou de suavização), d é o vetor de perturbação do modelo e g é o vetor da discrepância. Dessa forma, é obtida uma seção aparente, uma calculada e uma verdadeira, que corresponde de maneira mais fiel a geologia real da seção (Loke e Barker, 1996).

Na quarta etapa do trabalho, foram feitas análises e interpretação dos resultados, para isso foram aplicadas e comparadas as diversas classificações existentes da literatura, além da

análise dos dados de campo juntamente com sua topografia, utilizando o software RES2Dinv, afim de entender alguns dos aspectos que impactam no movimento de massa dessa encosta.

Vale ressaltar que o proprietário forneceu os dados topográficos da região, o que auxiliará na elaboração de mapas topográficos onde serão utilizados softwares como AutoCAD, QGIS e Google Earth.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 TALUDE

Queiroz (2016), define talude como a inclinação entre a superfície do terreno, sendo ele natural ou escavado, que pode ser expressa por um ângulo da superfície inclinada em relação a horizontal, delimitando um maciço rochoso ou terroso (Figura 5).

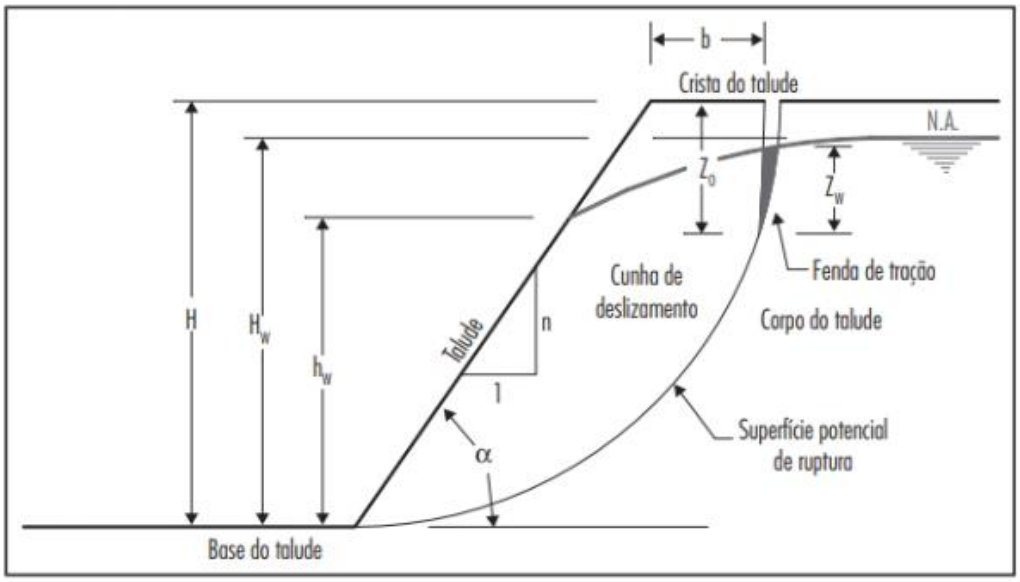


Figura 5 - Elementos de um talude, extraída de Queiroz (2016).

Como dito anteriormente o talude pode ser natural ou artificial. Conforme Stein *et al*. (2021), os taludes naturais são aqueles que acompanham a geomorfologia local, compostos por solo residual e/ou coluvionar além da presença de rochas, que também não foram antropofizados. Além disso, o autor descreve como taludes artificiais aqueles que foram construídos pelo homem.

A estabilidade desses taludes pode ser influenciada por alguns fatores como por exemplo as características climáticas do local, principalmente o regime pluviométrico, o fluxo de água superficial e em subsuperfície, além da distribuição e propriedades dos materiais do maciço. Importante considerar também, a forma como foi feito o uso e ocupação do solo, e se, foi feita alguma intervenção humana sendo para melhoria ou não do talude (Filho & Virgili, 1998). Os autores também separam alguns fatores condicionantes de instabilidade em dois

grupos, sendo eles os agentes predisponentes como geradores intrínsecos de movimentos de massa de um determinado terreno, e os agentes efetivos que são a causa direta da fragilidade do maciço conforme quadro 1.

Quadro 1 - Agentes condicionantes dos movimentos gravitacionais. Adaptado de Vedovello & Macedo (2007).

AGENTES CONDICIONANTES DOS DESLIZAMENTOS			
PREDISPONENTES		**EFETIVOS**	
GRUPO OU TIPO DE CONDICIONANTE	**CARACTERÍSTICAS CONDICIONANTES**	**PREPARATÓRIOS**	**IMEDIATOS**
Clima	• Pluviosidade • Temperatura • Sazonalidade	• Chuvas • Variações de temperatura • Dissolução química • Erosão eólica e pluvial • Presença de nascentes ou fontes de água • Mananciais e surgências d'água • Oscilações do nível d'água subterrânea ou em sub-superfície • Desmatamento • Lançamento de lixo e entulho • Remoção da cobertura vegetal • Execução de cortes e aterros e deposição de materiais • Concentração de água pluviais e servidas.	• Chuvas intensas ou contínuas • Vento • Fusão de gelo e neve • Tremores de terra • Vibrações produzidas por tráfego e explosões • Intervenções antrópicas inadequadas, como exemplo cortes e aterros mal dimensionados • Vazamento das redes de abastecimento de água, nas redes de esgoto e em fossas.
Substrato	• Tipo de material (rochas, solos, depósitos e sedimentos) • Propriedades fisíco-químicas dos materiais • Estruturas geológicas internas (foliação, xistosidade, juntas, fraturas) • Relações geométricas entre perfis de alteração e horizonte de solos		
Relevo	• Declividade • Tipo do perfil da encosta • Amplitude		
Águas superficiais e subsuperficiais	• Escoamento • Infiltração • Nível d'água • Dinâmica • Geometria do fluxo de água em sub-superfície		
Vegeteção	• Cobertura e proteção superficial • Evapotranspiração • Ação radicular • Peso		
Uso e ocupação da terra	• Tipos de ocupação urbana • Densidade de ocupação • Agricultura • Obras de engenharia		

2.2 MOVIMENTOS DE MASSA

"Movimentos de massa, é o movimento do solo, rocha ou vegetação ao longo da vertente sob ação direta da gravidade. A contribuição de outro meio, como água ou gelo se dá

pela redução da resistência dos materiais de vertente ou pela indução do comportamento plástico e fluido dos solos.” (Tominaga 2015)

Dito isso, os movimentos podem ser classificados de acordo com a dinâmica, geometria e material envolvidos, conforme quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de movimentos de massa. Adaptado de Tominaga (2015), p. 28.

PROCESSOS	DINÂMICA/GEOMETRIA/MATERIAL
Rastejos	• Vários planos de deslocamento (internos) • Velocidades muito baixas a baixas e decrescentes com a profundidade • Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • Solo, depósitos, rocha alterada/fraturada • Geometria indefinida
Escorregamentos	• Poucos planos de deslocamento • Velocidades médias a altas • Pequenos a grandes volumes de material • Geometria e materiais variáveis Planares - solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza Circulares - solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas Em cunha - solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas	• Sem planos de deslocamento • Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • Velocidades muito altas • Material rochoso • Pequenos a médios volumes • Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. • Rolamento de matacão • Tombamento
Corridas	• Muitas superfícies de deslocamento • Movimento semelhante ao de um líquido viscoso • Desenvolvimento ao longo das drenagens • Velocidades médias a altas • Mobilização de solo, rocha, detritos e água • Grandes volumes de material • Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

De acordo com Tominaga (2015), os escorregamentos são movimentos considerados rápidos que se deslocam sob ação da gravidade. Esse tipo de movimento ocorre quando a força gravitacional supera o atrito interno das partículas do maciço, acarretando no movimento de porções do terreno encosta abaixo. Vale ressaltar que a água exerce grande influência na estabilidade de um talude, pois tem capacidade de provocar a perda parcial ou total do atrito entre as partículas, que é o responsável pela estabilidade do mesmo. A velocidade com que esse movimento vai ocorrer depende da inclinação da superfície, do motivo e da natureza do terreno. Sendo assim, o mesmo pode ser subdividido em três tipos de escorregamentos: rotacionais, translacionais ou em cunha (Figura 6).

O movimento rotacional é aquele que acompanha uma superfície de ruptura curva, associado a solos espessos e homogêneos. Já os translacionais, são aqueles que acompanham um plano presente no solo ou rocha, que pode ser representado por estruturas como descontinuidades mecânicas ou hidrológicas. Além disso, ainda pode ser em cunha. Esse último tipo de escorregamento, é característico de maciços rochosos que possuem dois planos, associados também a estruturas geológicas, que juntos condicionam o deslocamento de massa em formato de prisma (Tominaga, 2015).

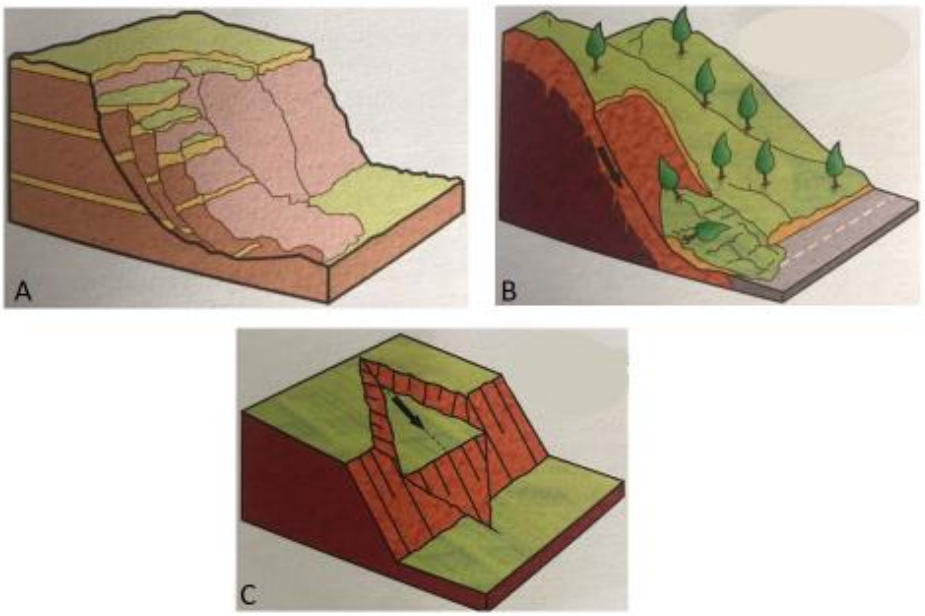


Figura 6 - A: Escorregamento rotacional. B: Escorregamento translacional. C: Escorregamento em cunha. Extraído e adaptado de Tominaga (2015).

Segundo Carvalho (1991), o movimento de queda de blocos é considerado rápido e em queda livre sem uma superfície de movimento correlacionada, ou seja, está associado com a gravidade. Suas causas primordiais podem estar ligadas a presença de descontinuidades no maciço que sob a ação da água ou raízes de plantas, podem pressionar o descolamento do bloco.

Já as corridas, de acordo com Guidicini e Nieble (1976), são consideradas escoamentos rápidos devido a presença de água em excesso no maciço, onde a água faz com que haja perda do atrito interno das partículas do solo. É um movimento com alto poder de destruição.

Por fim, Tominaga (2015) descreve rastejo como sendo um movimento lento, porém contínuo que envolve grandes volumes de solo sem que haja distinção clara entre o material estacionário e o que está em movimento. A gravidade atua fortemente nessa classificação, assim como a umidade do terreno e também a temperatura local. A variação da temperatura e da umidade, é responsável por exercer processos contracionais e extensionais na massa do terreno, o que juntamente com a gravidade provocam o deslocamento da mesma. Vale ressaltar que, a partir do momento que o movimento rompe, ele pode evoluir para corridas e ocasionar grandes catástrofes.

Entrentanto, como não é um movimento repentino, e sim contínuo, é possível avaliar sua intensidade e prevê-lo através de marcas deixadas pelo deslocamento da massa (Figura 7). Essas marcas podem ser trincas, embarrigamentos, surgência de água e até tombamentos de árvores ou postes (Carvalho *et al*, 2007).

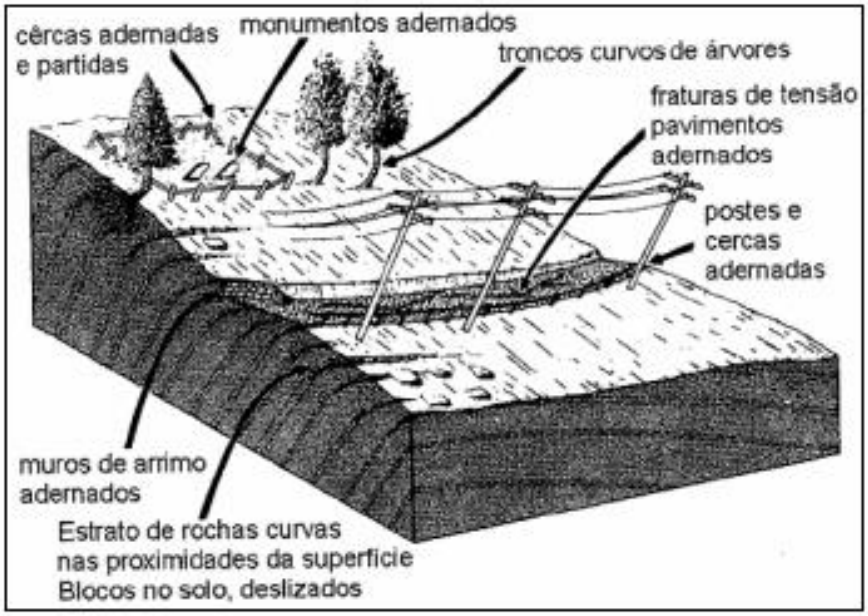


Figura 7 - Rastejo e seus indícios (Bloom, 1998 apud Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998).

Como dito anteriormente, o movimento do tipo rastejo é influenciado diretamente pela variação de temperatura, umidade e ação da gravidade. O movimento pode ser classificado como rastejo constante, aquele que acontece somento pela influência da gravidade, ou rastejo sazonal, que é influenciado por todos os outros fatores conforme, Guidicini e Nieble (1976).

Os autores ainda ressaltam que o mecanismo de deformação do rastejo é associado a chamada tensão de fluência que é dependente da curva de tensão-deformação do material do maciço em que está acontecendo o movimento. Ou seja, enquanto as tensões presentes no talude estiverem abaixo das tensões de fluência, o mesmo estará estável. Em contrapartida, quando exceder essa tensão, o movimento iniciará.

2.3 HISTÓRICO DE OCUPAÇÃO DA CIDADE DE OURO PRETO – MG E MOVIMENTOS DE MASSA

A história do município de Ouro Preto, Minas Gerais, está ligada diretamente com o ciclo do ouro no Brasil, através da busca por bens naturais no país pelos colonizadores.

No final do século XVII, na busca por riquezas pelas terras ainda pouco desbravadas aconteceu algumas expedições, no intuito de encontrá-las. Os bandeirantes da corte encontraram ouro nas proximidades do pico do Itacolomi. Já no século XVIII houve a consolidação da população nos arredores dos locais que exploravam o bem mineral, sendo que

no final deste século houve uma decadência no número de pessoas na região, pela escassez do mineral conforme Tavares (2009).

Além disso, o autor ressalta que o século XIX foi marcado por um período de inércia no crescimento populacional devido à dificuldade da expansão urbana pelo relevo local. Somado a esse problema, a inauguração de Belo Horizonte alavancou a migração da população para a nova capital.

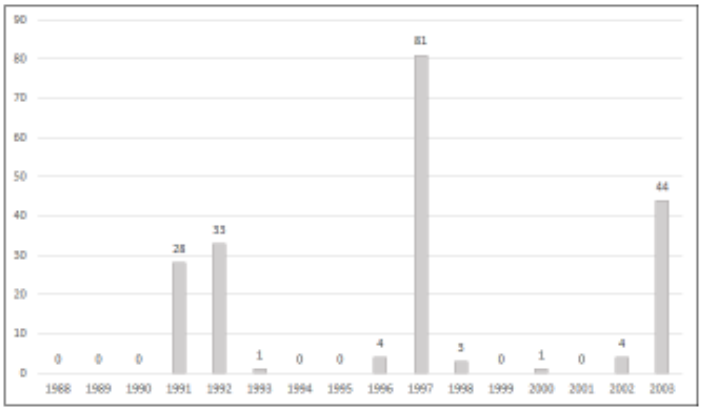
Tavares (2009), sugere que por volta de 1950 com a mineração de ferro e reativação da mineração aurífera, houve novamente um crescimento populacional considerável para região de Ouro Preto. De acordo com Sobreira e Fonseca 2001, esse crescimento citado anteriormente não provocou alterações consideráveis para a cidade, pois foram ocupados locais mais estáveis do ponto de vista geotécnico. Entretanto, ressalta-se que a partir de 1970 o município sofreu um crescimento populacional de cerca de 40%, o que acarretou na expansão desordenada da malha urbana municipal que se desenvolveu em áreas remotamente já alteradas pela mineração.

Além do uso e ocupação do solo, é importante verificar o histórico do índice pluviométrico de um local (Quadro 3), pois associados com estruturas geológicas desfavoráveis a movimentos de massa, esse aspecto torna-se nocivo a estabilidade de um talude.

Quadro 3 – Adaptado de Castro 2006. Índice pluviométrico ao longo dos anos da cidade de Ouro Preto, MG.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1988	290,6	278,5	99,5	205,4	53	0,8	0	0	33,4	80,2	127,7	177,7	1346,8
1989	176,6	317,4	188,1	16,2	1,1	40,9	49,5	28,1	93,7	154,2	212,8	555,1	1833,7
1990	88,8	141,5	109,3	75	61,9	12,2	30,7	52,4	44,9	69,8	159,4	159,2	1005,1
1991	604,5	256,1	310,1	65,1	37	7,5	2,6	2	93,4	115	158,1	277,5	1928,9
1992	694,2	304,8	91	116,6	95,2	2,7	29,4	38,4	186,4	194,7	347,7	411,3	2512,4
1993	144,8	204	162,3	165,1	40,4	8,9	0	11,6	67,1	200,4	136,2	284,7	1425,5
1994	367	59,5	206,1	60,8	35,6	3,9	2	0	1,2	119,6	130	329,5	1315,2
1995	152,1	188,5	225,1	64,7	24,3	4,5	1,7	0	15,7	178,3	198,3	514,5	1567,7
1996	148	275,3	167,4	51	49,4	0	0	5,6	96,5	153,2	407,3	400,5	1754,2
1997	572,9	138,1	208	96,5	20,8	0	0	3,1	90,6	194,3	189	165,6	1678,9
1998	322,4	299,3	114,9	70	70,5	0,7	3,2	41,4	18,8	164,3	233,5	166,7	1505,7
1999	152,9	120,2	336	23	1,5	3,9	0,1	0	37,8	87,6	298,6	252,8	1314,4
2000	490,5	131,9	179,4	20,4	4	0	12,3	29,7	75,9	77,2	337,1	272,5	1630,9
2001	251,9	75,4	188,8	24	38,9	0	2,5	16,2	60,8	114,2	341,2	347,7	1461,6
2002	343,6	280,1	112,3	25,8	71,5	0	1	44,5	127,4	30,6	368,3	449,1	1854,2
2003	502,1	59	158	61,6	15,8	0	1,4	33,5	22,4	70,1	279,1	265,5	1468,5
2004	261,4	318	241,7	149,6	50,3	21,6	43,4	0	0	68,9	221,7	390,9	1767,5
TOTAL	327,3	202,8	182,2	75,93	39,48	6,33	10,6	18,03	62,71	121,9	243,9	318,87	1610,071

De acordo com os dados, os maiores índices de pluviosidade na região ocorrem dos meses de outubro a fevereiro e podem ser relacionados a grandes eventos de movimentos gravitacionais na cidade, através da análise de ocorrências do corpo de bombeiros da cidade, feito também pela autora (Figura 8).



A

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1988	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	**1**
1989	0	0	0	0	0	0	0	2	0	5	10	15	**32**
1990	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	**2**
1991	28	1	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	**32**
1992	33	14	1	1	1	0	0	0	0	0	3	1	**54**
1993	1	2	0	0	1	0	0	0	0	4	0	1	**9**
1994	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	**2**
1995	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	**40**
1996	4	0	0	2	0	0	0	0	0	2	24	6	**38**
1997	81	4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	**88**
1998	3	2	1	1	0	0	0	0	0	1	4	0	**12**
1999	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	**0**
2000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	1	**7**
2001	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	13	8	**23**
2002	4	5	1	0	0	0	0	0	1	0	4	13	**28**
2003	44	0	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	**49**
TOTAL	**199**	**28**	**6**	**9**	**2**	**0**	**3**	**3**	**2**	**13**	**64**	**88**	**417**

B

Figura 8 - Adaptado de Castro (2006). A – Ocorrências de movimentos de massa no Corpo de Bombeiros de Ouro Preto no período de 1988 a 2003. B – Número de ocorrências por meses do ano.

Os dados confirmam que o estudo do uso e ocupação, além de índices de pluviosidade somado a aspectos geológicos influenciam na ocorrência de movimentos gravitacionais na cidade de Ouro Preto, Minas Gerais.

De acordo com dados do site da Prefeitura do município de Ouro Preto, Minas Gerais, o clima é considerado tropical de altitude, onde o índice de precipitação média é de 2018 mm/ano com distribuição irregular em que o máximo de chuvas se encontra na estação do verão. A temperatura varia entre 6 e 28ºC, onde de acordo com Castro (2006), tem uma temperatura média de 18,5ºC. Vale ressaltar que o mês de julho é estatisticamente considerado o mais frio e janeiro o mais quente.

Ainda de acordo com o site da Prefeitura de Ouro Preto, o município abrange diversas nascentes como a do Rio das Velhas, Piracicaba, Gualaxo do Norte, do Sul, Mainart e Ribeirão do Funil. Além disso, a topografia é desenhada por aproximadamente 5% por partes planas, 40% de onduladas e 55% montanhoso, marcada pelo bioma predominante denominado Mata Atlântica.

2.4 LEVANTAMENTO GEOFÍSICO DE ELETRORRESISTIVIDADE

Para somar aos demais aspectos locais, fez-se necessário a utilização de métodos geofísicos para caracterizar o comportamento do maciço de acordo com sua composição mineralógica, textural, grau de alteração e saturação avaliando suas características de acordo

com os estímulos elétricos enviados. Vale ressaltar que uma intervenção humana no terreno pode mudar o comportamento das propriedades.

De acordo com Braga (2001), a geofísica aplicada dispõe de diversos métodos para auxiliar na caracterização dos meios. Eles podem ser: geoelétricos, sísmicos, potenciais ou geotérmicos. Os métodos geolétricos abrangem a eletrorresistividade, polarização induzida e potencial espontâneo (Quadro4).

Quadro 4 - Métodos geoelétricos, Braga (2001) p.2

MÉTODOS GEOELÉTRICOS	PARÂMETROS FÍSICOS ESTUDADOS
Eletrorresistividade	Resistividade elétrica
Polarização induzida	Variações de voltagem em função do tempo(cargabilidade) ou frequência
Potencial espontâneo	Potencial natural
Eletromagnético	Condutividade
Radar de penetração	Constante dielétrica/permissividade

O autor ainda aborda a classificação feita por ele sobre os métodos geoelétricos que se baseia no método, na técnica e o tipo de arranjo a ser utilizado afim de guiar o experimento de acordo com o resultado que se espera conforme mostra o quadro 5.

Quadro 5 - Métodos Geoelétricos baseado em três critérios, Braga (2001) p. 3

MÉTODO	Parâmetro físico medido	Resistividade, cargabilidade, potencial espontâneo, etc.
TÉCNICA	Tipo de investigação – horizontal (ao longo de uma seção) ou vertical (pontual)	Sondagens, caminhamentos e perfilagens
ARRANJO	Tipo de disposição dos eletrodos no desenvolvimento da técnica	Shlumberger, Wenner, dipolo-dipolo, axial, etc.

2.4.1 ELETRORRESISTIVIDADE

Em campo, este método baseia-se na descarga de corrente elétrica, levando em consideração a capacidade do equipamento, no substrato. Acontece através da disposição de eletrodos em diversas partes do terreno, com diferentes espaçamentos entre esses eletrodos na tentativa de calcular as distintas resistividades dos diferentes tipos de materiais, considerando suas profundidades, (Braga, 2001).

Conforme Gallas & Giardin (2016), para entender como o método funciona é necessário partir do princípio do funcionamento da primeira e segunda lei de Ohm, onde a resistência elétrica R de um condutor homogêneo é proporcional ao comprimento l e inversamente proporcional à área de sua seção transversal A.

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Onde ρ é a resistividade elétrica, expressa em ohms x metro.

Borges (2007), explica que ao aplicar o método em um terreno, por ser um meio heterogêneo, obtém-se a resistividade média de um pacote. É denominada de resistividade aparente, pois, reflete os valores médios de onde a corrente passou, e não os valores absolutos dos diferentes tipos de materiais que estão presentes no talude. Braga (2001), explica que na verdade faz-se uma média ponderada de todas as resistividades verdadeiras.

Braga (2001), ainda ressalta que é necessário sempre correlacionar os dados obtidos com o conhecimento geológico da área, afim de entender melhor o comportamento elétrico de uma determinada região. Dito isso, existe resultados estimados para alguns tipos de materiais, no intuito de auxiliar no entendimento e na validação de dados obtidos em pesquisas de campo, (Quadro 6).

Quadro 6 - Valores de resistividade para os diferentes tipos de materiais, adaptado de Braga (2001).

TIPO LITOLÓGICO	RESISTIVIDADE (ohm.m)
Zona não saturada	100 a 30.000
Argiloso	<= 20
Argilo-Arenoso	20 a 40
Areno-Argiloso	40 a 60
Siltito Argiloso	10 a 60
Siltito Arenoso	
Arenoso	>= 60
Argilito	10 a 20
Arenito	80 a 200
Basalto/Diabásio	200 a 500
Calcário	500 a 1.000
Granito/Gnaisse	3.000 a 5.000

O método de caminhamento elétrico faz a análise e interpretação de dados a partir da superfície (Braga 2001). Borges (2007), explica que a medição é feita a partir de um ponto fixo, onde os eletrodos são dispostos a distâncias iguais um dos outros.

O arranjo dipolo-dipolo, foi o tipo de arranjo usado neste trabalho por ser considerado um dos arranjos mais rápidos e precisos do mercado. De acordo com Braga (2001), a plotagem desse método ocorre a um ângulo de 45º no ponto médio de AB e MN, onde as profundidades vão aumentando de acordo com que o eletrodo se distancia da fonte AB (Figura 9).

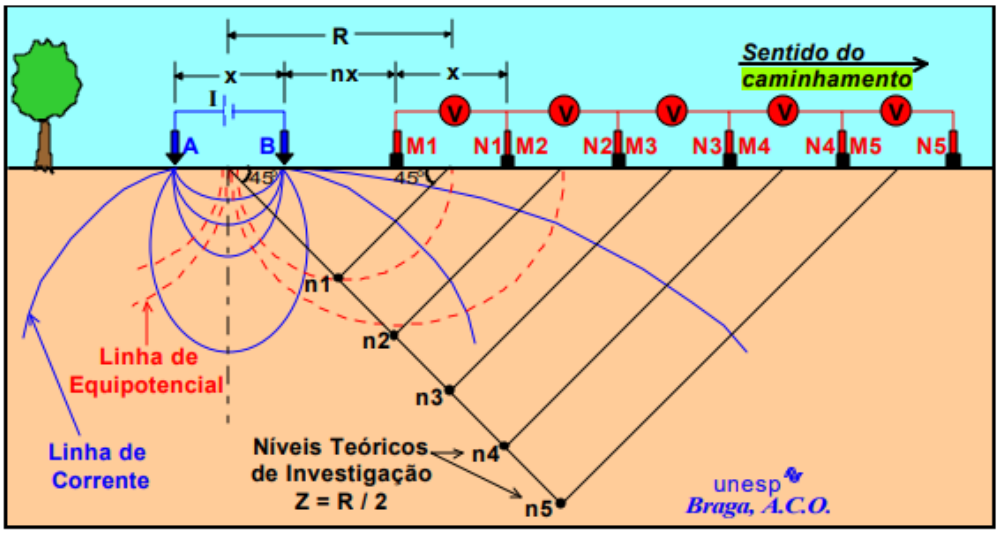


Figura 9 - Disposição no campo do arranjo dipolo-dipolo, Braga (2001)

Vale ressaltar, que após a leitura de campo, obtém-se uma seção geoelétrica aparente conforme Figura 10.

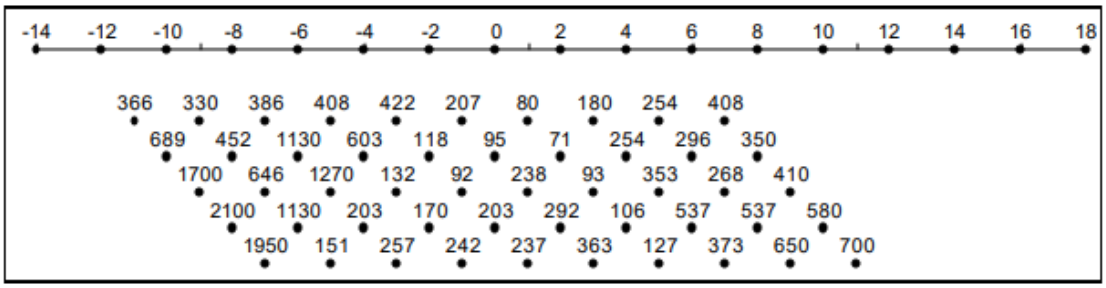


Figura 10 - Plotagem do arranjo dipolo-dipolo, Braga (2001).

CAPÍTULO 3

CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO

A cidade de Ouro Preto, Minas Gerais, situa-se a aproximadamente 70 km da capital do estado, Belo Horizonte. A região de estudo se encontra na área urbana do município, próximo a tradicional Escola de Farmácia da Universidade Federal de Ouro Preto, especificamente entre as ruas Xavier da Veiga e Manoel Cabral conforme Figura 11.

Figura 11 – Localização e vias de acesso da cidade de Ouro Preto e terreno estudado.

3.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

De acordo com Hasui (2012), a cidade do ouro, encontra-se na Plataforma Sul Americana, que pode ser definida como uma porção relativamente estável do ponto de vista geotectônico (Figura 12). Essa plataforma compreende escudos, que são áreas estáveis desde o pré-cambriano e muito erodidas, e bacias sedimentares. Os escudos por sua vez, podem abranger crátons, faixas móveis e orógeno.

Figura 12 – Retirada de Hasui (2012) p. 118

A área de estudo, está situada a sudoeste do Cráton São Francisco. Esse cráton pode ser definido como uma porção de crosta continental espessa e fria, onde o embasamento é composto basicamente por tonalito, tronghjemitos e granodioritos (TTG), além de greenstonebelts arqueanos, plútons e sequências supracrustais, com metamorfismo variando desde a fácie xisto até granulito, conforme Hasui (2012).

Especificamente, está a sudoeste desse cráton, em uma área denominada como Quadrilátero Ferrífero (QF). Conforme Hasui (2012), refere-se como uma região montanhosa, que abrange a região centro sul do estado de Minas Gerais. Seu nome deve-se a morfologia das serras que o compõe e a quantidade de jazidas de minérios, em maior quantidade de Ferro conforme Figura 13.

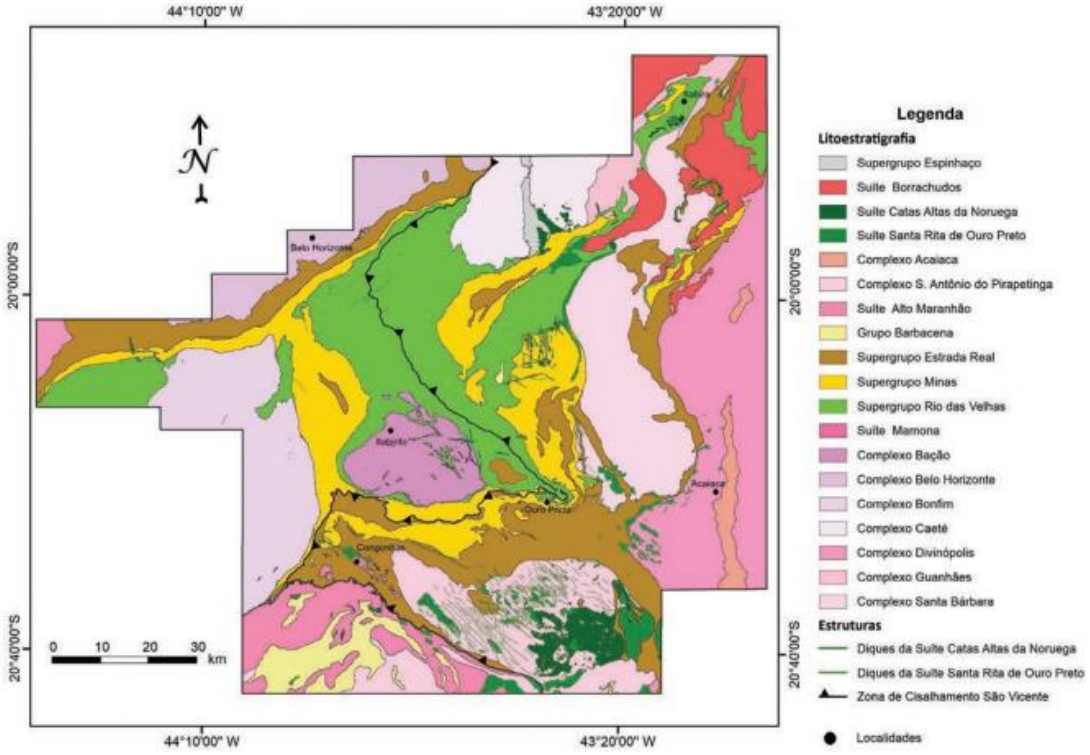


Figura 13 – Mapa geológico do Quadrilátero Ferrífero. Retirado de Endo *et al.* (2020), p. 74.

Através de estudos recentes, foi possível refinar a estratigrafia do Quadrilátero. Segundo Endo *et al.* (2020) a estratigrafia do QF é composta por rochas do Arqueano, do Paleo-Mesoproterozoico e do Cenozoico, como pode ser visto na Figura 14.

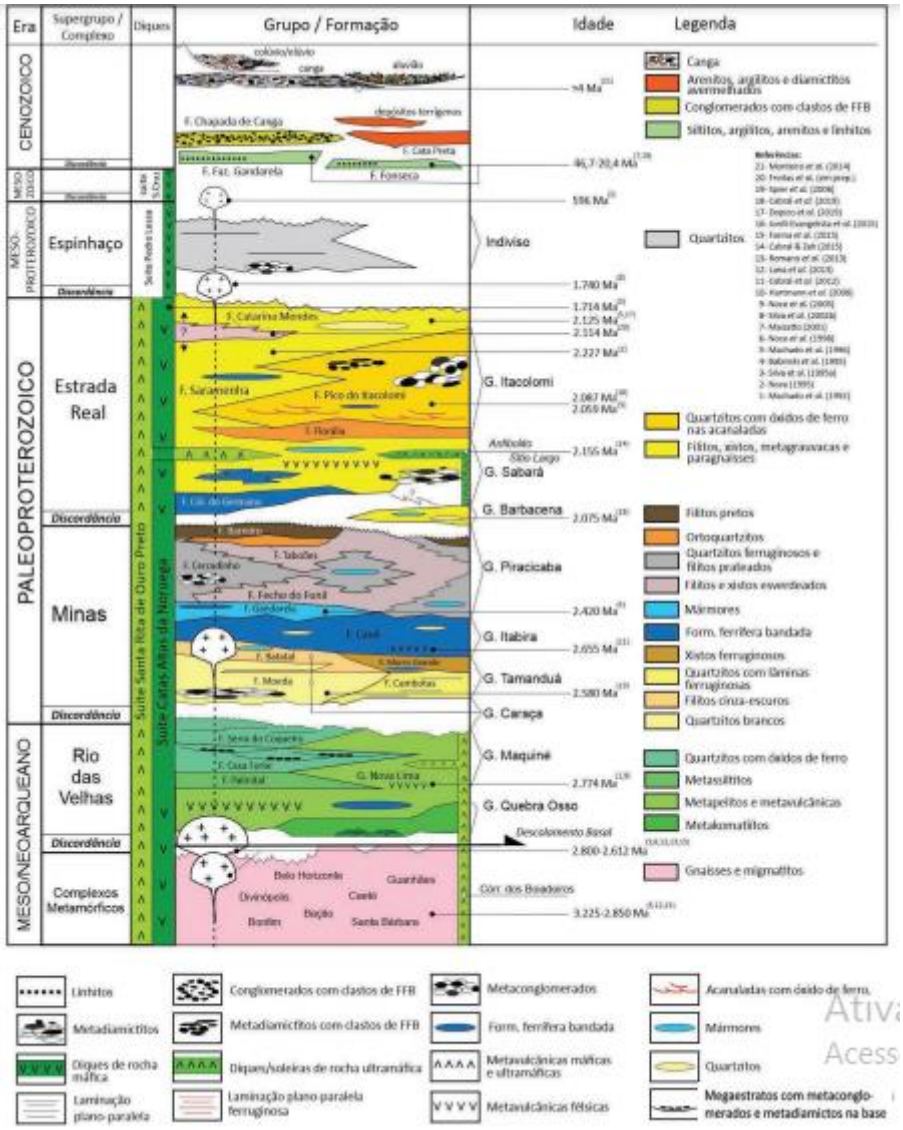


Figura 14 - Coluna Estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero. Retirada de Endo et al. (2020).

Vale ressaltar que o arcabouço estrutural da região sofreu intenso retrabalhamento, devido a atuação de diferentes ciclos na área, é uma porção que apresenta muitas dobras de diferentes gerações e estilos segundo Endo (1997).

O complexo arcabouço estrutural do Quadrilátero apresenta duas teorias distintas, sendo que a primeira defendida por Alkmim & Marshak (1998) fala de estruturas em domos e quilhas nas unidades superficiais, em terrenos arqueanos e paletoproterozóicos, onde seu desenvolvimento acompanha a Figura 15 e considera como uma estrutura autóctone.

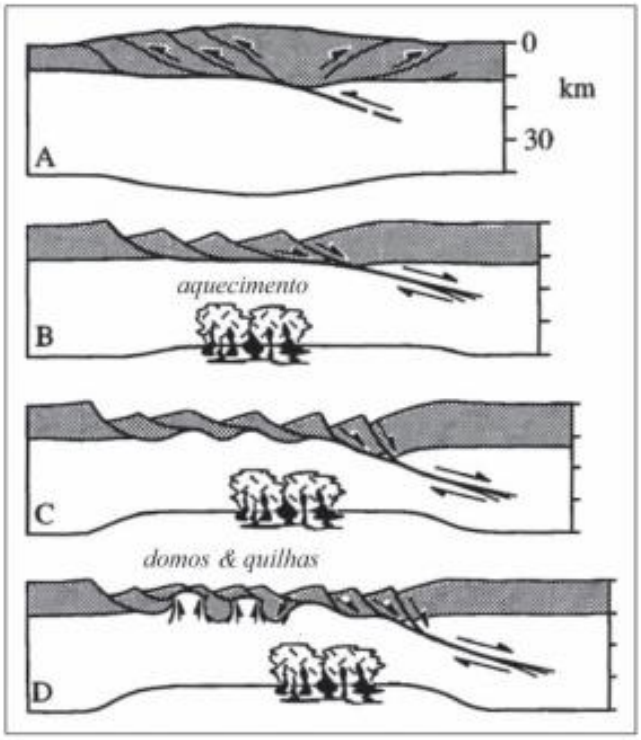


Figura 15 - Desenvolvimento de domos e quilhas. Retirado de Endo (2020).

Já a defendida por Endo et al. (2005), entende que as estruturas vistas na região podem vir de uma superposição de nappes, estruturas alóctones, que teriam sido deformadas em diferentes eventos. A primeira nappe, denomida Nappe Curral conforme Figura 16, transportada no sentido NNE, e a segunda, Nappe Ouro Preto, teria sido transportada através de uma zona de cisalhamento, denominada de Zona de Cisalhamento de São Vicente com direção SW conforme (Figura 16).

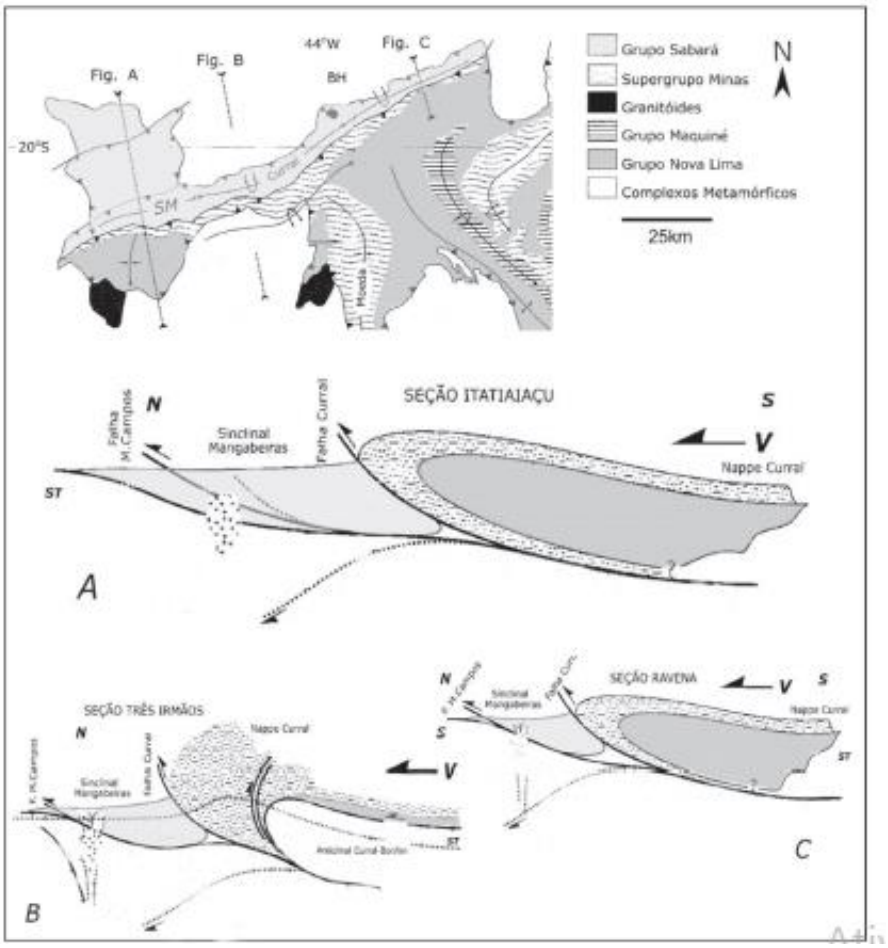


Figura 16 - Nappe do Curral. Retirado de Endo et al. (2005) p. 282.

Por fim, o autor ressalta a existência de dobras da terceira geração que amplificaram o retrabalhamento da região.

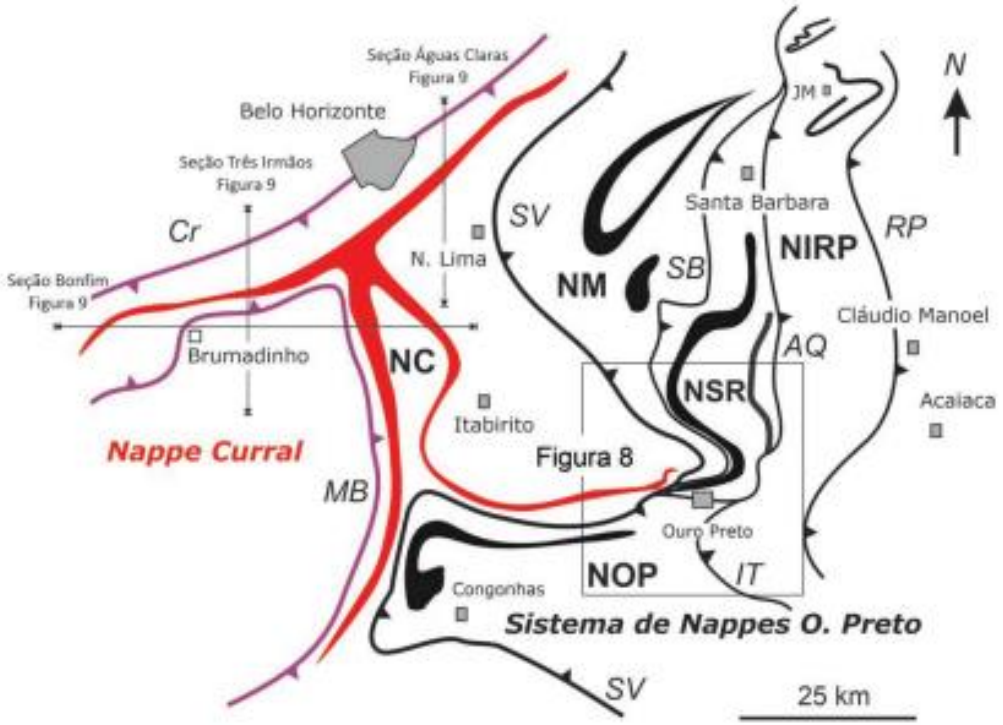


Figura 17 - Sistema de Nappes do Quadrilátero Ferrírero. Retirado de Endo (2020) p. 84.

A cidade de Ouro Preto detém em sua subsuperfície a sequência estratigráfica do QF, de acordo com Sobreira (1992) e Castro (2006), há problemas de caráter geotécnico que acompanham as diferentes formações. Seguindo a sequência estratigráfica, são eles: os xistos do Grupo Nova Lima com alto grau de alteração e fraturamento com tendência a escorregamentos superficiais, e formação de sulcos e ravinas, os filitos da Formação Batatal com baixas resistência, quartzito ferruginoso e filito prateado da Formação Cercadinho com baixa resistência ao intemperismo, quartzitos da Formação Barreiro, são muito alterados e apresentam baixa resistência, onde nota-se a presença de ravinas.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TOPOGRAFIA LOCAL

Os dados topográficos apresentados no trabalho foram fornecidos pelo Ronaldo Toffolo, um dos proprietários das posses da família Toffolo. O terreno estudado, se encontra abaixo da planta da casa 02, identificada na Figura 188.

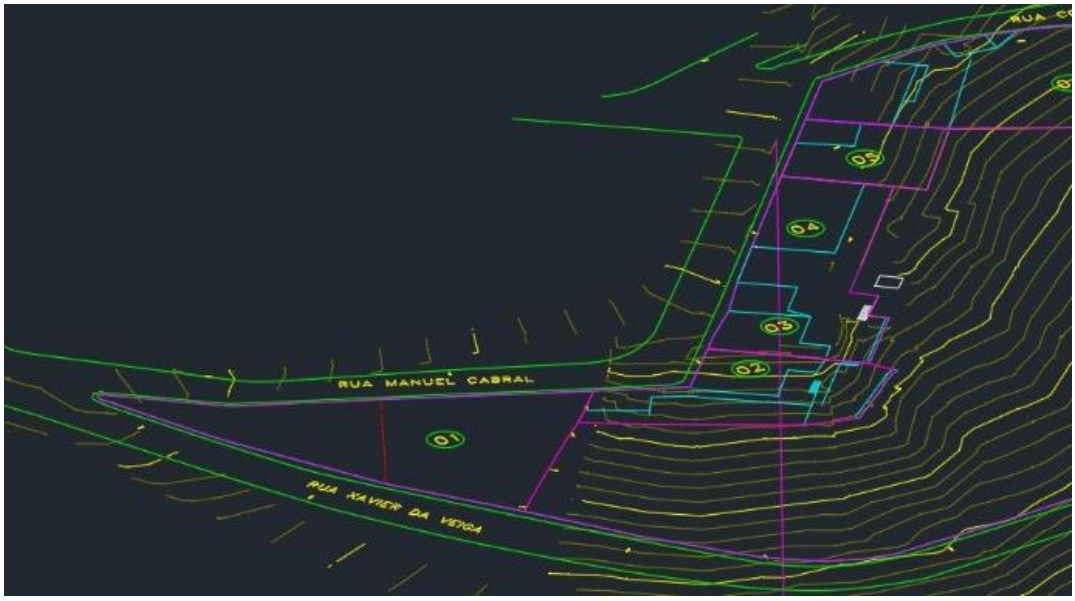


Figura 18 - Topografia do terreno, utilizando o software AutoCAD

As características topográficas do local de estudo podem ser visualizadas no mapa topográfico (Figura 18), sendo que a primeira curva marca uma cota de 1030, e a última de 1007, além disso, na imagem as curvas de nível estão demarcadas de 1 em 1 metro, aproximadamente, em curtas distâncias, o que faz as curvas ficarem muito proximas entre si. Dito isso, fica claro que se trata de uma região com declividade acentuada, caracterizando um talude íngreme, propício à ocorrência de movimentos gravitacionais, como pode ser visto na Figura 19.

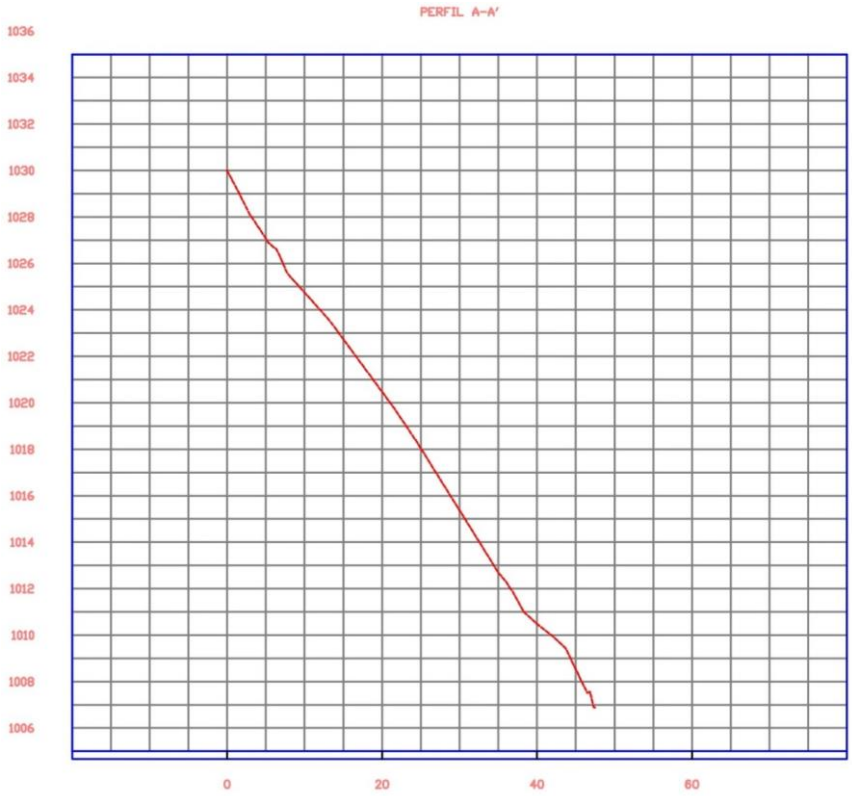


Figura 19 - Perfil do caminhamento A - A', usando o software Civil3D 2024.

4.2 LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Na área de estudo, os muros embarrigados, algumas árvores tortas e desníveis nos pisos, precedem qualquer outra característica visual do terreno, conforme pode ser visto nas Figuras 20 e 21. 20 e 21 Além disso, existe algumas trincas no local que foram preenchidas por concreto de acordo com os moradores da casa.

É importante ressaltar que todas essas características são marcas deixadas pelo deslocamento lento e contínuo do rastejo, o que nos auxilia na avaliação da intensidade do movimento de massa (Carvalho *et al*, 2007).

Figura 20 - Embarrigamento no muro principal da residência, sob diferentes perspectivas, indicativo da direção principal do movimento.

Figura 21 - Desnível no piso da residência, sob diferentes perspectivas, em diversos locais da residência.

Ao realizar o mapeamento no local, nota-se a presença de colúvio, predominante, e vários degraus de abatimento no local, que variam de 40 a 90 centímetros, aproximadamente (Figura 22). Estes degraus de abatimento podem ser relacionados com a atuação do peso e da gravidade no terreno em questão, sendo assim, mais um indicativo do movimento de massa.

Figura 22 - Degraus de abatimento no terreno.

Há no terreno resquícios de um muro de contenção que não resistiu com o tempo. Além disso, é preciso registrar que os moradores locais fazem obras de contenção anualmente, na tentativa de conter desgaste maior na propriedade.

4.3 SEÇÕES DE ELETRORRESISTIVIDADE

Neste trabalho foram executadas 2 perfis de eletrorresistividade utilizando o método de caminhamento, ortogonais entre si, conforme ilustrado na Figura 23, com linhas de 40 metros cada. Além disso, os eletrodos foram cravados de 2 em 2 metros e banhados com solução salina para aumentar a condutividade entre eletrodo e o solo.

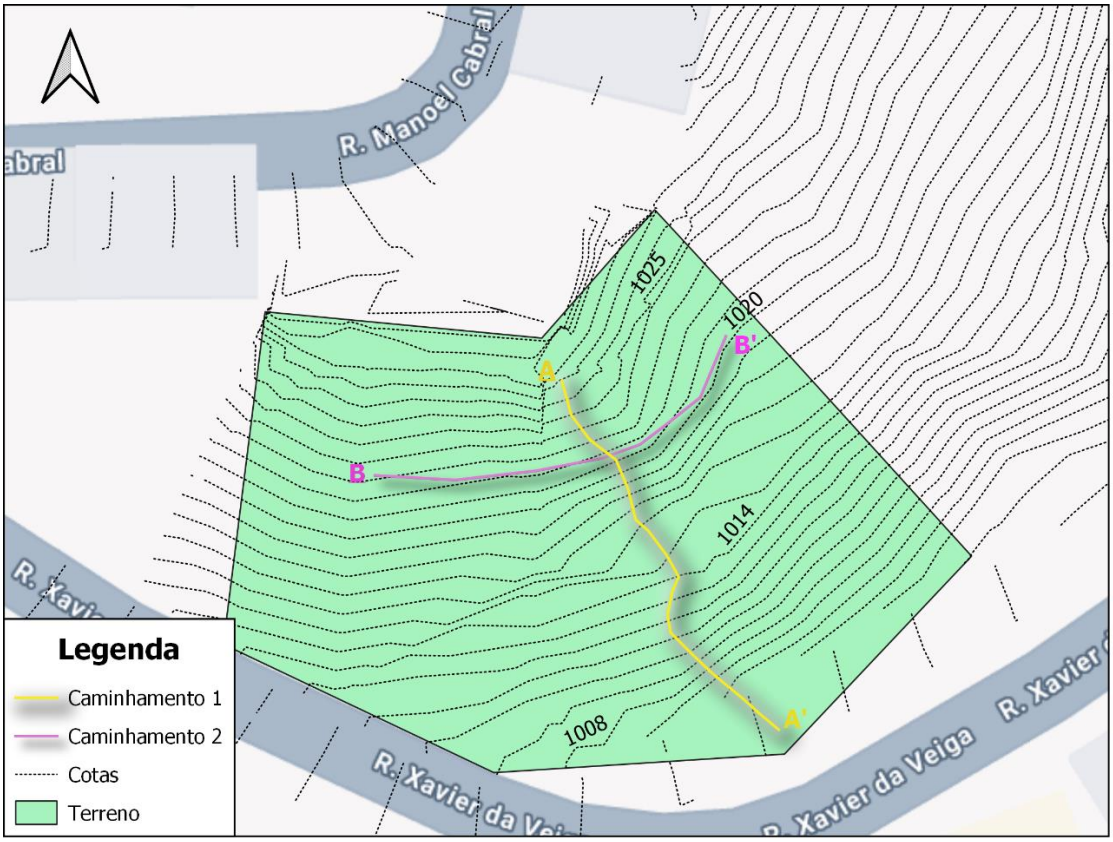


Figura 23- Disposição dos perfis de eletrorresistividade, assim como topografia do terreno.

O primeiro perfil (A para A'), realizado no dia 16 de Novembro de 2023, paralela ao que se acredita ser o eixo principal do deslocamento de massa, apresenta resistividade variando consideravelmente, de acordo com a cota do terreno.

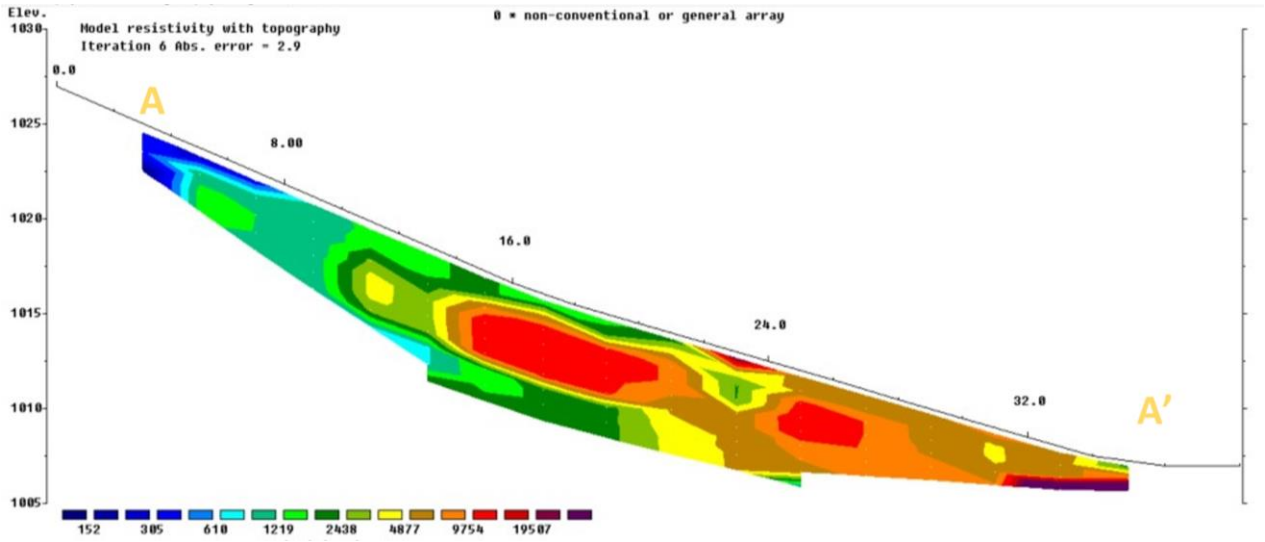


Figura 24 - Resistividade do primeiro perfil (A para A'), realizada no dia 16 de Novembro de 2023.

Como é possível notar nos valores de resistividade mostrados na Figura 244, as medidas variam muito. Considerou-se valores baixos, aqueles que variam até 618 ohm.m, que abrangem as cores azul escuro até azul claro. Os valores médios compreendem o intervalo de maior que 618 até 4877 ohm.m, compreendendo o espaço entre as cores verde água até marrom. Já as medidas consideradas altas, são aquelas maior que 4877 ohm.m, que variam sua coloração de laranja a roxo.

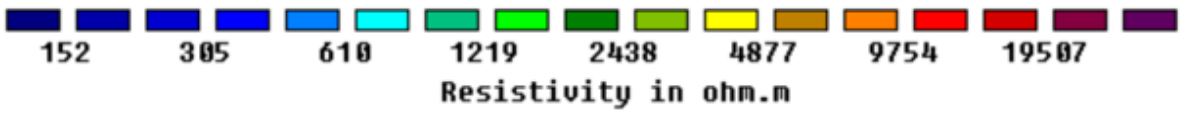


Figura 25 - Valores de resistividade da primeira linha de caminhamento (A para A')

É possível notar, que os pontos de resistividade mais altas estão a uma profundidade considerável, o que acredita ser a parte rochosa do maciço. As colorações que variam de azul a verde claro, apresentam valores mais baixos indicando serem materiais mais propícios a reter água e se serem mais condutivos aos estímulos elétricos.

Dessa forma, nessa seção entende-se que os valores de resistividade mais baixos estão mais próximos a A, ou seja, na parte alta do terreno, o que pode indicar uma porção mais saturada na área.

Já no segundo perfil do terreno (B para B’), feita ortogonal o primeiro e paralela as linhas de cota, notou-se uma resistividade baixa, ao longo de quase todo o perfil realizado no dia 18 de Dezembro de 2023 (Figura 26).

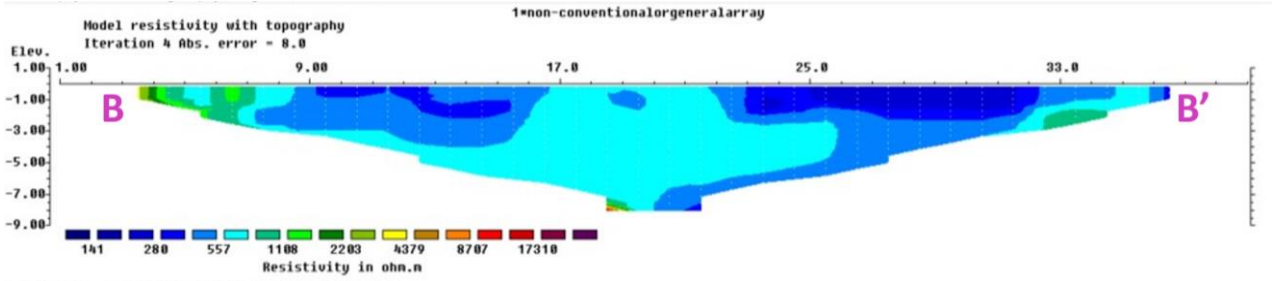


Figura 26 - Segunda perfil de eletrorresistividade (B para B’), traçada no dia 18 de Dezembro de 2023.

Nota-se ao observar a escala de cores (Figura 27), que as medidas consideras como valores baixos variam até 557 ohm.m, com tonalidades variando de azul escuro até azul claro. As medidas de valores médios, compreendem o intervalo de maior que 557 até 4379 ohm.m, com as cores variando de verde claro até marrom. Já os valores considerados altos, são aqueles maiores que 4379 ohm.m, que abrangem as cores variando do laranja até o roxo.

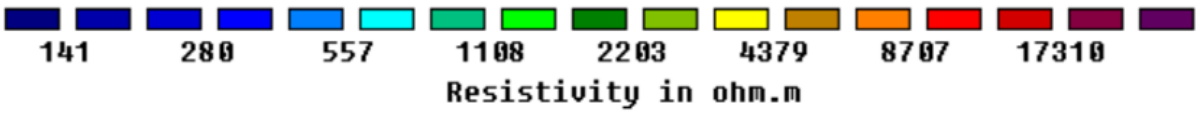


Figura 27 - Valores de resistividade da segunda linha de caminhamento elétrico (B para B')

É possível observar que a resistividade baixa é comum durante todo seu trajeto, o que condiz com o esperado, observando o caminhamento anterior. Os dois perfis se cruzaram no eletrodo 7, o que nos leva a inferir após averiguar ambas as imagens, que a resistividade baixa deve-se por estar alocado provavelmente na área responsável por reter água do sistema, ou seja, em uma zona coluvionar saturada.

Sendo assim, é importante compreender que o peso do solo, juntamente com a ação da gravidade e umidade local, é capaz de mover o terreno, o que caracteriza o movimento do rastejo. De acordo com Tominaga (2015) se trata de um movimento que envolve grandes porções de solo que se movem de maneira lenta e contínua, por ação da gravidade, umidade e temperatura local, sem que haja distinção clara entre o material que está em movimento e o material estacionário.

É importante ressaltar que a Figura 24, deixa evidente que caso exista alguma lâmina de água no terreno, a mesma não apareceu na seção do método escolhido e pode estar abaixo da profundidade alcançada pela eletrorresistividade.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÃO

Os resultados das análises de campo juntamente com as seções geofísicas convergem para a intepretação da ocorrência de um movimento de massa do tipo rastejo no terreno.

Ressalta-se que a análise geofísica trata-se de um método indireto, sendo necessário para maior detalhamento da situação a execução de sondagens para avaliar melhor as características do solo e tentar medir uma profundidade satisfatória para o movimento do rastejo, o que não foi possível neste trabalho.

Entretanto, como visto na perspectiva histórica da cidade de Ouro Preto, ela foi desenvolvida em áreas de relevo montanhoso, diagnosticadas impróprias, em sua maioria, do ponto de vista geotécnico.

Avaliando também o histórico de chuvas do município, é importante lembrar que o período de maior índice de chuvas varia de outubro a fevereiro. Ademais, o relato dos proprietários do terreno é que todo ano, no período chuvoso eles precisam fazer obras de contenção, para minimizar os dados no terreno estudado.

O terreno também apresentou características do movimento de rastejo, como regiões saturadas, vistas nos perfis de eletrorresistividade, muros embarrigados, trincas e árvores tortas, vistos no levantamento de campo, que são provenientes da movimentação lenta e contínua do solo.

Levando em consideração todas as pontuações acima é possível atestar o movimento do rastejo em questão, como sazonal. Pois, o movimento é influenciado pela variação da temperatura, umidade e gravidade, e foi caracterizado como sazonal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alkmim, F. F., & Marshak, S. (1998). Transamazonian orogeny in the Southern Sao Francisco craton region, Minas Gerais, Brazil: evidence for Paleoproterozoic collision and collapse in the Quadrilátero Ferrıfero. Precambrian Research, 90(1-2), 29-58.

Braga, A. C. O. 2001. Métodos Geoelétricos Aplicados–Módulo Hidrogeologia. Universidade Estadual Paulista UNESP/IGCE/DGA. Rio Claro SP. 91p.

Bloom, A. L., Petri, S., Ellert, R. (1988). Superfície da Terra. Edgard Blucher/Edusp. São Paulo.

Borges, W. R. (2007). Caracterização geofísica de alvos rasos com aplicações no planejamento urbano e meio ambiente: estudo sobre o sítio controlado do IAG/USP (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Castro, J. M. G. (2006). Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto, p. 9-44.

Castro, P. T. A., Endo, I., & Gandini, A. L. (2020). Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos. Belo Horizonte: 3i Editora. 420p.

Carvalho, P. A. S (1991). Taludes de rodovias: orientação para diagnóstico e soluções de seus problemas. São Paulo. IPT. 410 p

Carvalho, C. S., et al. (2007) Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios – Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, Brasília.

Dyminski, A. S. (2007). Noções de estabilidade de taludes e contenções. Universidade Federal do Paraná, Notas de Aula, Estabilidade de Taludes. 28p, 61, p.1-28.

Elis, V. R. (2002) Geofísica aplicada ao estudo de poluição dos solos e águas subterrâneas. Aplicação de métodos geofísicos na caracterização de áreas poluídas, IAG - Instituto de Astronomia e Geofísica da USP, Curso de Verão, São Paulo.

Endo, I., & Machado, R. (1997). Regimes tectônicos do Arqueano e Proterozóico no interior da Placa Sanfranciscana: Quadrilátero Ferrífero e áreas adjacentes.

Endo, I., Oliveira, A. H., Peres, G. G., Guimarães, M. L. V., Lagoeiro, L. E., Machado, R., ... & Melo, R. J. (2005). Nappe Curral: uma megaestrutura alóctone do Quadrilátero Ferrífero e controle da mineralização. Boletim de resumos expandidos, 279-282.

Endo, I., Machado, R., Galbiatti, H. F., Rossi, D. Q., Zapparoli, A. D. C., Delgado, C. E. R., ... & Oliveira, M. M. F. D. (2020). Estratigrafia e evolução estrutural do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. Quadrilátero Ferrífero: avanços do conhecimento nos últimos 50 anos, 70-113.

Filho, A. O., & Virgili, J. C. (1998). Estabilidade de taludes. Geologia de Engenharia. ABGE, São Paulo, 243-269.

Filho, A. O., & Virgili, J. C. (1998). Geologia de Engenharia. Cap, 15, 243-269.

Gallas, J. D. F. & Giardin A. (2016). Eletrorresistividade Na Prospecção De Aquíferos Fraturados, p. 119 – 138.

Guidicini, G., & Nieble, C. M. (1976). Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Editora Blucher, p. 10 – 25.

Hasui, Y., Carneiro, C. D. R., de Almeida, F. F. M., & Bartorelli, A. (Eds.). (2012). Geologia do brasil.

Infanti, N & Fornasari, F. F. (1988). Processos de dinâmica superficial.

Loke, M. H. e Barker, R. (1996) Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-newton method, Geophysical Prospecting.

Porto, M. Fundamentos de Engenharia Geotécnica Características Físicas dos Solos. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Notas de Aula, Departamento de Construção Civil, p. 1 -22.

PREFEITURA DE OURO PRETO, 2023. Disponível em: https://ouropreto.mg.gov.br/turismo/dados-geograficos. Acesso em: 17 maio 2023.

Queiroz, R. C. (2016). Geologia e geotecnia básica para engenharia civil. Editora Blucher, p. 270-278

Riffel, E. S., Guasselli, L. A., & Bressani, L. A. (2016). Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura. Boletim Goiano de Geografia, 36(2), 285-305.

Rodrigues, B. B. (2002). Proposta de sistemática para tomada de decisão relativa a movimentos de massa gravitacionais: aplicação em Ouro Preto (MG), p. 153-163.

Sobreira, F. G. (1992). Obras de contenção em Ouro Preto: o abandono e o perigo, p. 205-207.

Sobreira, F. G., & Fonseca, M. A. (2001). Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil, p. 11-17.

Stein, R. T et al. (2021). Estabilidade de taludes e contenções, p. 11-19.

Tavares, R. B. (2009). Ordenamento territorial e impacto ambiental: riscos geológicos em área de preservação arqueológica mineira com ocupação desordenada. Exemplo de Ouro Preto, Minas Gerais. CETEM/MCT/CNPq/CYTED, p. 119-135.

Tominaga, L. K., Santoro, J., & Amaral, R. (2015). Desastres naturais. São Paulo: Editora Instituto Geológico, p. 13-18, 27-37.

Vedovello, R., & Macedo, E. D. (2007). Deslizamentos de encostas. Vulnerabilidade ambiental: desastres naturais ou fenômenos induzidos, 75-93.