



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**  
**ESCOLA DE MINAS**  
**DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**



**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**35 ANOS DA PRIMEIRA CARTA GEOTÉCNICA DE OURO PRETO – UMA ANÁLISE  
DO SEU LEGADO**

**Emanuel Melo Franco Neves Costa**

**MONOGRAFIA nº 310**

Ouro Preto, dezembro de 2018



**35 ANOS DA PRIMEIRA CARTA GEOTÉCNICA DE OURO  
PRETO – UMA ANÁLISE DO SEU LEGADO**

---





## **FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO**

### **Reitora**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Aparecida Marlière de Lima

### **Vice-Reitor**

Prof. Dr. Hermínio Arias Nalini Júnior

### **Pró-Reitora de Graduação**

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Tânia Rossi Garbin

### **ESCOLA DE MINAS**

#### *Diretor*

Prof. Dr. Issamu Endo

#### *Vice-Diretor*

Prof. Dr. Hernani Mota de Lima

### **DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA**

#### *Chefe*

Prof. Dr. Marco Antônio Fonseca



# **MONOGRAFIA**

**Nº 310**

## **35 ANOS DA PRIMEIRA CARTA GEOTÉCNICA DE OURO PRETO – UMA ANÁLISE DO SEU LEGADO**

**Emanuel Melo Franco Neves Costa**

*Orientador*

Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar

*Coorientadora*

Prof<sup>ª</sup>. M Sc Iraydes Tálita de Sena Nola

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 2018/2.

**OURO PRETO**

**2018**

---

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: Emanuel Melo Franco Neves Costa

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

C837t Costa, Emanuel Melo Franco Neves.  
35 anos da primeira carta geotécnica de Ouro Preto [manuscrito]: uma  
análise do seu legado / Emanuel Melo Franco Neves Costa. - 2018.  
  
52f.: il.: color; grafs; tabs; mapas.  
  
Orientador: Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar.  
  
Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de  
Minas. Departamento de Geologia.  
  
1. Mecânica do solo. 2. Cartografia. 3. Ouro Preto (MG). 4. Deslizamentos  
(Geologia). I. Bacellar, Luís de Almeida Prado. II. Universidade Federal de  
Ouro Preto. III. Título.

CDU: 624.131

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)

## Ficha de Aprovação

---

### TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TÍTULO:** 35 Anos da Primeira Carta Geotécnica de Ouro Preto – Uma Análise do Seu Legado

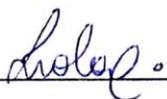
**AUTORA:** EMANUEL MELO FRANCO NEVES COSTA

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar

**Aprovada em:** 13 de dezembro de 2018

#### BANCA EXAMINADORA:

MSc. Iraydes Tálita de Sena Nola



NUGEO/UFOP

Prof. Dr. César Falcão Barella



DEAMB/UFOP

Msc. Cahio Guimarães Seabra Eiras



NUGEO/UFOP

Ouro Preto, 13/12/2018



## Agradecimentos

---

Dedico a conclusão da minha graduação a todos que estiveram comigo e contribuíram para que esses anos fossem os mais importantes na minha construção. À minha mãe, Mara, pela força que me inspira a recomeçar todos os dias e pelo amor imensurável. Ao meu pai, José, pelo incentivo, sabedoria e compreensão. Às minhas irmãs, Clarisse e Júlia, pelo apoio, conselhos e por serem sempre meus exemplos, em todos os âmbitos.

À Tálita pela dedicação, paciência e incentivo durante todas as etapas de confecção desse trabalho.

Ao professor Luís Bacellar pela orientação e pelos ensinamentos fundamentais ao aperfeiçoamento do projeto.

Aos amigos de Ouro Preto e às Repúblicas Partenon e Diferença pela amizade e bons momentos que tornaram os anos da graduação mais leves e felizes.

Por fim, agradeço ao Departamento de Geologia, à Escola de Minas e à Universidade Federal de Ouro Preto, professores e funcionários pelo ensino superior de qualidade e por darem forma aos meus sonhos.





# SUMÁRIO

---

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	<b>viii</b>
<b>SUMÁRIO</b> .....	<b>x</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xii</b>
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>xix</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvii</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 APRESENTAÇÃO .....	1
1.2 OBJETIVOS .....	2
1.3 JUSTIFICATIVA .....	3
<b>2 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA</b> .....	<b>5</b>
2.1 INTRODUÇÃO .....	5
2.2 CLASSIFICAÇÕES DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	5
2.3 TIPOS DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	7
2.3.1 Escorregamentos .....	7
2.3.2 Quedas.....	8
2.3.3 Tombamentos.....	9
2.3.4 Rastejo.....	9
2.3.5 Corridas ou fluxos.....	9
2.4 FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	10
<b>3 FORMAS DE AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA</b> .....	<b>13</b>
3.1 CONCEITOS BÁSICOS .....	13
3.2 TIPOS DE AVALIAÇÃO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA.....	14
3.2.1 Mapa de Inventário .....	14
3.2.2 Carta de Predisposição .....	16
3.2.3 Carta de Suscetibilidade.....	16
3.2.4 Carta de Perigo.....	18
3.2.5 Carta de Risco .....	19
<b>4 MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM OURO PRETO</b> .....	<b>21</b>
4.1 HISTÓRICO GERAL DOS PROBLEMAS GEOTÉCNICOS .....	21

4.2	DOCUMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS REALIZADOS EM OURO PRETO .....	22
4.2.1	Souza (1996) .....	22
4.2.2	Bonuccelli (1999).....	23
4.2.3	Castro (2006) .....	23
4.2.4	Nola (2015) .....	23
4.2.5	Xavier (2018) .....	23
4.3	A PRIMEIRA CARTA GEOTÉCNICA DE OURO PRETO.....	24
4.4	A CARTA DE SUSCETIBILIDADE DE FONTES (2011).....	26
<b>5</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA.....</b>	<b>29</b>
5.1	LOCALIZAÇÃO.....	29
5.2	CLIMA .....	29
5.3	GEOLOGIA .....	30
5.4	CONTEXTO FISIAGRÁFICO E GEOMORFOLÓGICO .....	31
<b>6</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
6.1	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	33
6.2	SOBREPOSIÇÃO DE DADOS .....	35
6.3	ANÁLISE DOS RESULTADOS .....	35
<b>7</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>37</b>
7.1	ANÁLISE DO BANCO DE DADOS .....	37
7.1.1	Tipos de movimentos cadastrados no banco de dados.....	37
7.1.2	Banco de dados x Mapa Litológico .....	39
7.1.3	Distribuição espacial dos movimentos de massa em Ouro Preto.....	41
7.2	BANCO DE DADOS X CARTA GEOTÉCNICA DE CARVALHO (1982).....	43
7.3	BANCO DE DADOS X CARTA GEOTÉCNICA DE FONTES (2011).....	44
<b>8</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>47</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>49</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 2.1</b> - Movimentos de massa gravitacionais apresentados por Varnes, 1978. Adaptado de USGS (2004).....	10
<b>Figura 3.1</b> - Etapas de estudo de movimentos gravitacionais de massa em ordem de pesquisa. ....	14
<b>Figura 3.2</b> - Mapa de inventário dos movimentos gravitacionais de massa registrados na cidade de Ouro Preto/MG .....	15
<b>Figura 3.3</b> - Mapa de predisposição a movimentos de massa do município de Ipatinga -MG	16
<b>Figura 3.4</b> - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca-PE.....	17
<b>Figura 3.5</b> - Mapa de Perigo a escorregamentos para cidade de Ouro Preto/MG. ....	18
<b>Figura 3.6</b> - Mapa de risco a escorregamentos de Viçosa-MG .....	19
<b>Figura 4.1</b> - Escorregamento ocorrido em 2012, em Ouro Preto, na encosta acima da rodoviária. ....	22
<b>Figura 4.2</b> – Prancha 07 da Carta Geotécnica de Ouro Preto de Carvalho (1982). ....	25
<b>Figura 4.3</b> - Mapa de suscetibilidade a escorregamentos proposto por Fontes (2011).....	27
<b>Figura 5.1</b> – Localização do distrito sede da cidade de Ouro Preto/MG. ....	29
<b>Figura 5.2</b> - Índices pluviométricos mensais de Ouro Preto.....	30
<b>Figura 5.3</b> - Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero .....	31
<b>Figura 6.1</b> - Organização do Trabalho Banco de dados.....	34
<b>Figura 7.1</b> - Frequência das ocorrências quanto ao tipo de movimento .....	39
<b>Figura 7.2</b> - Frequência de MMG de acordo com a estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero. .	40



## ÍNDICE DE TABELAS

---

<b>Tabela 2.1:</b> Classificações de Movimentos de Massa Gravitacionais e suas principais características .....	6
<b>Tabela 4.1</b> - Classes de declividade atribuídas por Carvalho (1982).....	24
<b>Tabela 7.1</b> – Tipos de movimentos cadastrados no banco de dados.....	38
<b>Tabela 7.2</b> – Distribuição de movimentos de massa nos bairros de Ouro Preto/MG. ....	41



## Resumo

---

As cartas geotécnicas são ferramentas importantes no planejamento territorial, uma vez que conjugam dados naturais e por vezes antrópicos, incluindo fatores geológicos, hidrogeológicos e associados à dinâmica superficial fornecendo à população e aos órgãos competentes informações imprescindíveis no que concerne ao risco geológico da região. A cidade de Ouro Preto possui um histórico recorrente de acidentes geológico-geotécnicos vinculados à conjunção das condições climáticas, geológicas e de uso e ocupação do solo. A primeira Carta Geotécnica de Ouro Preto, elaborada por Carvalho em 1982, teve como motivação o elevado número de escorregamentos de solo e rocha suscitados pelas condições de intensa pluviosidade no ano de 1979. Dessa forma, o autor elaborou uma Carta Geotécnica de zoneamento urbano que teve como objetivo a definição de níveis hierárquicos de suscetibilidade em termos de estabilidade de encostas e foi gerada pela interpolação da Carta de Declividade e da Carta de Qualidade de Terrenos. Utilizando o inventário de movimentos gravitacionais de massa, 695 pontos foram sobrepostos aos mapas litológicos, de bairros e às cartas geotécnicas elaboradas por Carvalho (1982) e Fontes (2011). Dessa forma, analisou-se os grupos e formações geológicas e as regiões dentro do município com a maior incidência de eventos, bem como o acerto dos zoneamentos de suscetibilidade conforme a quantidade de acidentes registrados por área. De acordo com os índices de densidade de movimentos de massa calculados para as Cartas de Suscetibilidade de Carvalho (1982) e Fontes (2011), os resultados corroboram a proposta dos autores, uma vez que indicam uma menor concentração de movimentos de massa nas áreas consideradas como de menor suscetibilidade e maiores índices nas suscetibilidades mais elevadas.

**Palavras chave:** Cartografia Geotécnica, Ouro Preto, Suscetibilidade, Escorregamentos.



## Abstract

---

Geotechnical cartography is an important tool in territorial planning, once it combines natural and sometimes anthropic data, including geological, hydrogeological informations and the ones associated with surface dynamics, providing to the population and the government essential information regarding the geological risk of the region. The city of Ouro Preto has a recurring history of geological-geotechnical accidents due to the conjunction of climatic, geological and land use and occupation conditions. The first geotechnical map of Ouro Preto, elaborated by Carvalho in 1982, was motivated by the high number of soil and rock slides provoked by the intense rainfall conditions in 1979. Thus, the author prepared a geotechnical map of urban zoning with the objective to define of hierarchical levels of risk in terms of slope stability and was generated by the interpolation of the Slope Map and the Land Quality Map. Using the inventory of mass movements, 695 points were superimposed on the lithological, neighborhoods and geotechnical maps elaborated by Carvalho (1982) and Fontes (2011). Finally, the geological groups and formations and the regions within the municipality with the highest incidence of events were analysed, as well as the hit rate of the susceptibility zoning according to the number of accidents recorded by area. According to the mass movement density indexes calculated for the geotechnical maps by Carvalho (1982) and Fontes (2011), the results corroborate the authors' proposal, since they indicate a lower concentration of mass movements in the areas considered as having lower susceptibility and higher indices in the higher susceptibilities.

**Key words:** Geotechnical Cartography, Ouro Preto, Susceptibility, Landslides.





# CAPITULO 1

## INTRODUÇÃO

---

### 1.1 APRESENTAÇÃO

As cartas geotécnicas são ferramentas importantes no planejamento territorial, uma vez que conjugam dados naturais e por vezes antrópicos, incluindo fatores geológicos, hidrogeológicos e associados à dinâmica superficial, fornecendo à população e aos órgãos competentes informações imprescindíveis no que concerne ao risco geológico-geotécnico da região.

O entendimento dos fenômenos e processos causadores de movimentos gravitacionais de massa é fundamental para o planejamento territorial, no que diz respeito ao uso e ocupação do solo e ao controle da expansão e urbanização. O zoneamento de regiões conforme avaliações – como predisposição, suscetibilidade, perigo e risco – tem como objetivo minimizar as perdas humanas e materiais associados a desastres naturais e dar subsídio ao poder público para elaborar medidas restritivas de ocupação, de modo a evitar a formação de novas áreas de risco (IPT 2014).

A cidade de Ouro Preto/MG possui um histórico recorrente de acidentes geológico-geotécnicos vinculados à conjunção das condições climáticas, geológicas e de uso e ocupação do solo. A primeira Carta Geotécnica de Ouro Preto, publicada em 1982, por autoria do Engenheiro Geólogo Edézio Teixeira de Carvalho, teve como motivação o elevado número de deslizamentos de solo e rocha suscitados pelas condições de intensa pluviosidade no ano de 1979. Dessa forma, o autor elaborou uma Carta Geotécnica de zoneamento urbano que teve como objetivo a definição de níveis hierárquicos de risco em termos de estabilidade de encostas e foi gerada pela interpolação da Carta de Declividade e da Carta de Qualidade de Terrenos, na qual o autor avalia fatores geológicos, hidrogeológicos, morfológicos e processos geodinâmicos (Carvalho 1982). Esses parâmetros deram subsídio para estabelecer, dentro da área urbana de Ouro Preto, as zonas com maior suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa, e, assim, evitar desastres como os ocorridos em 1979.

Em seu trabalho, Carvalho (1982) denomina o levantamento feito por ele como sendo zoneamento de risco, classificando as áreas entre zonas de risco nulo ou desprezível, moderado e elevado. No entanto, conforme será discutido no Capítulo 3, risco é um termo que leva em consideração, além das condições naturais do meio físico, os danos aos elementos sociais e econômicos decorrentes de um possível movimento gravitacional de massa (Amaral Jr. 2007).

Como o autor utilizou somente os dados referentes à Carta de Qualidade de Terrenos e ao Mapa de Declividade para a geração de sua carta geotécnica, ou seja, informações referentes ao meio

físico e mapas geomorfológicos, nesse trabalho ela será considerada como uma carta de suscetibilidade.

Assim, com a consolidação dos conceitos e análises referentes à cartografia geotécnica, a carta elaborada por Carvalho (1982) pode ser considerada como de suscetibilidade, uma vez que os dados utilizados para sua geração levam em conta somente características referentes ao meio físico. Além disso, o autor descreve algumas recomendações destinadas às futuras ocupações após a publicação do seu trabalho, indicando quais áreas com maior ou menor aptidão para a urbanização.

Várias pesquisas acadêmicas já produziram, nas últimas décadas, um conjunto de dados sobre os acidentes geológico-geotécnicos registrados na região. Tais dados foram reunidos em um inventário de movimentos gravitacionais de massa por Xavier (2018), em um estudo que consiste em um compilado de todos os movimentos gravitacionais de massa classificados por sua localização e tipo. Este inventário foi utilizado no presente trabalho para ser cruzado à carta geotécnica produzida por Carvalho (1982), permitindo uma análise do índice de acerto do zoneamento produzido por aquele autor.

Ao produzir um estudo precursor, Carvalho precedeu à pesquisa das condições geológico-geotécnicas da cidade, avaliando as condições naturais para produzir sua carta. Posteriormente, outros autores fizeram diferentes análises geotécnicas, como cartas de perigo e risco, utilizando outros parâmetros e outras tecnologias advindas com a modernidade, tais como o uso de softwares e a cartografia digital.

Assim, o presente trabalho analisou quão próximo à realidade o estudo elaborado por Carvalho se encontra, 35 (trinta e cinco) anos após a sua publicação, a partir de diferentes vieses que permitem, além de discutir o índice de acertos da carta de suscetibilidade, estabelecer um panorama das condições geológico-geotécnicas do município e discorrer sobre o legado do pioneirismo da cartografia geotécnica em Ouro Preto.

## **1.2 OBJETIVOS**

O objetivo principal deste trabalho é discutir a validade da Carta Geotécnica gerada por Carvalho (1982) em termos do índice de acertos a partir da sobreposição cartográfica do inventário de movimentos gravitacionais de massa que ocorreram após 1982, buscando entender se a metodologia usada realmente traduz a situação geológica-geotécnica pela qual a cidade evoluiu nos últimos 35 (trinta e cinco) anos.

Essa análise permite discutir se o zoneamento de suscetibilidade proposto pode ser usado atualmente, apesar do crescimento urbano do município, dando ferramentas aos órgãos competentes

para o planejamento territorial da cidade e, para a minimização de perdas materiais e humanas decorrentes dos movimentos gravitacionais de massa.

Como objetivo secundário, foi analisada a Carta de Suscetibilidade publicada por Fontes (2011), propiciando uma discussão sobre o advento de novas tecnologias e sua utilização na Cartografia Geotécnica, e, através dos resultados, a importância das Cartas Geotécnicas para a sociedade.

### **1.3 JUSTIFICATIVA**

A cidade de Ouro Preto tem sido, desde o seu estabelecimento, alvo de acidentes geológico-geotécnicos e, conseqüentemente, sujeita a perdas humanas e perdas econômicas, principalmente associadas ao seu patrimônio histórico. Dentro desse contexto, a Cartografia Geotécnica possibilita a identificação de suscetibilidades e riscos e a minimização dos mesmos, uma vez que oferece recomendações diretas e indiretas ao planejamento urbano. Dessa forma, ao identificar o índice de acertos da carta geotécnica elaborada por Carvalho (1982), é possível ponderar se a suscetibilidade prevista por seu estudo corresponde à distribuição do histórico de movimentos gravitacionais de massa pós-publicação da mesma, validando a sua utilização nos dias atuais discutindo metodologias que possam aprimorar a prevenção de acidentes geotécnicos.



## CAPÍTULO 2

### MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

---

#### 2.1 INTRODUÇÃO

O presente capítulo expõe os conceitos sobre movimentos gravitacionais de massa, identificando os principais estudos feitos dentro desse tema, bem como os tipos de movimento de massa contextualizados ao território brasileiro e os seus condicionantes, naturais e antrópicos.

Os movimentos gravitacionais de massa são alguns dos mais importantes processos naturais que incidem no meio físico e, conseqüentemente contribuem para a ocorrência de situações de risco. Estes processos são notoriamente pesquisados em todo o mundo e muitos métodos de análise foram desenvolvidos para que sejam reconhecidos e padronizados os tipos de movimentos e seus mecanismos.

Para o estudo destes processos faz-se necessário o conhecimento de conceitos, classificações e metodologias. Varnes (1978) define os movimentos de massa gravitacionais como processos geológicos superficiais que deslocam parte dos materiais que formam as encostas como rocha, solo, detritos ou a combinação dos mesmos sob a ação da força gravitacional. Esses movimentos podem ser deflagrados por meio de um agente como a água, o gelo, a neve e até o ar.

Assim, existem vários tipos de movimentos de massa que alteram o relevo do nosso planeta. Estes movimentos são classificados e estudados de formas diferentes devido a sua morfologia e forma de ocorrência.

#### 2.2 CLASSIFICAÇÕES DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

A classificação de movimento gravitacional de massa tem como objetivo promover uma simples e consensual terminologia visando estruturar e facilitar o entendimento deste campo de estudo. Sendo assim, vários autores descrevem os movimentos gravitacionais de massa de acordo com as características a eles intrínsecas, como por exemplo: a geometria, os tipos de materiais, a cinemática do movimento e a morfologia do processo. As classificações consideradas as mais importantes em termos de aplicação são: Varnes (1978) e Hutchinson (1988).

A Tabela 1, adaptada de Nola (2015), apresenta um resumo das principais características das classificações existentes na literatura de acordo com parâmetros específicos.

**Tabela 2.1:** Classificações de Movimentos de Massa Gravitacionais e suas principais características (Fonte: Adaptado de Nola, 2015)

<b>Autores</b>	<b>Data</b>	<b>Materiais envolvidos</b>	<b>Movimentos considerados</b>	<b>Adaptações</b>	<b>Processos correlatos</b>
<b>Sharpe</b>	1938	Solo, rocha, gelo e mistura	6 básicos	Não	Sim
<b>Terzaghi</b>	1928	Solo, rocha	Escorregamento	1950	Não
<b>Magalhães Freire</b>	1965	Solo, rocha, mistura	6 básicos	Não	Sim
<b>Nemcok</b>	1972	Solo, rocha	Quedas, fluxo, rastejo, escorregamento	Não	Não
<b>Zaruba e Mencl</b>	1969	Solo, rocha	-	-	-
<b>Varnes</b>	1978	Solo, rocha	6 básicos	1985, 1996 e 2014	Não
<b>Hasegawa</b>	1985	Solo, rocha	Quedas, fluxo, rastejo, escorregamento	Não	Não
<b>Sassa</b>	1985	Solo, rocha	Quedas, fluxo, tombamento e solifluxão	-	Não
<b>Hutchinson</b>	1988	Solo, rocha, mistura	6 básicos + recuo e ruptura	-	Sim
<b>Yagi</b>	1993	Solo, rocha, mistura	Deslizamento e abatimento	Não	Sim
<b>Augusto Filho</b>	1992	Solo, rocha, mistura	Rastejo, escorregamento, quedas, corridas	Não	Não
<b>Lansheng</b>	1995	Solo, rocha	Escorregamento, acamamento, fraturado, fluxo, plástico-fraturamento	Não	Sim
<b>Antoine &amp; Giraud</b>	1995	Solo, rocha	Esfoliação, tombamento, rolamento, escorregamento, escoamento e subsidência	Não	Não
<b>Cruden e Varnes</b>	1996	Solo, rocha	6 básicos	2014	Não
<b>Hungr, Leroueil e Picarrelli</b>	2014	Rocha, argila, lama, silte, areia, cascalho, pedregulho, detrito, turfa e gelo	5 básicos (exclusão do movimento complexo)	-	Não

## **2.3 TIPOS DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA**

A classificação de Varnes é uma das mais importantes e utilizadas, servindo como base de vários estudos e orientações de organizações nacionais e internacionais, a exemplo: USGS (2004) e IPT (2014). A classificação dos movimentos gravitacionais de massa desenvolvida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT 2014) leva em consideração o histórico de acidentes geológico-geotécnicos ocorrido no país e sua potencialidade para geração de desastres naturais, baseando-se nos conceitos de Varnes (1978).

Os movimentos gravitacionais de massa tratados nesse trabalho foram conceituados através da classificação de Varnes (1978) e das orientações estabelecidas pelo IPT (2014). Desta forma, os movimentos podem ser divididos em: escorregamentos, quedas, tombamentos, rastejo e corridas ou fluxos. Os movimentos que se caracterizam por combinações de mais de um tipo são chamados de complexos. Esses movimentos são descritos a seguir e ilustrados pela Figura 2.1.

### **2.3.1 Escorregamentos**

Escorregamentos são causados por uma deformação cisalhante ao longo da superfície de ruptura. Envolve a movimentação de materiais inconsolidados e rochosos por toda a extensão da cicatriz de ruptura, sendo os primeiros sinais o aparecimento de fissuras em superfície. Normalmente são movimentos de lento a rápidos, deflagrados por agentes de grande amplitude, como chuvas torrenciais ou condições pluviométricas elevadas durante um intervalo de tempo extenso, condicionados às características físicas e geológicas intrínsecas à região.

Eles ocorrem, prioritariamente, em encostas com declividade de média a alta, e são divididos de acordo com a superfície sobre a qual se estabelece, podendo ser translacional (ruptura planar), rotacional (ruptura circular) ou em cunha (desenvolvida em planos de fraqueza pré-existent na rocha).

Os escorregamentos rotacionais caracterizam-se por uma superfície de ruptura curva, concêntrica ao longo do plano e côncava em direção ao movimento do material carregado (Figura 2.1a). Frequentemente, esses movimentos estão associados a solos espessos e homogêneos, onde o material se desloca a partir de várias superfícies de ruptura internas (Varnes 1978). Quando acontecem em material rochoso, os escorregamentos rotacionais envolvem rochas que apresentam resistência baixa, na maioria das vezes em decorrência de sobrecarga.

Tais movimentos ocorrem em velocidades baixas ou moderadas, uma vez que as forças motrizes do mecanismo de rotação tendem a diminuir com o aumento do deslocamento e massas de

rochas com pouca resistência sob uma força cisalhante falham de maneira dúctil (Hungar, Leroueil & Picarelli 2014).

Os escorregamentos translacionais se caracterizam por uma superfície de ruptura com aspecto planar ou levemente ondulado, e o material deslocado comumente escorrega sobre essa superfície, sendo relativamente mais rasos que os rotacionais (Figura 2.1b). Esses movimentos são ocasionados, geralmente, sob zonas de fraquezas, como falhas, fraturas, planos de acamamento, foliações da rocha ou entre contatos litológicos e pedológicos (Varnes 1978).

Os escorregamentos translacionais em rocha ocorrem a partir do deslizamento de uma massa rochosa sob uma superfície de ruptura planar com pouca ou nenhuma deformação interna e tendem a adquirir grandes velocidades, exceto nos casos que as litologias apresentem resistências muito baixas ou os planos de ruptura apresentem mergulhos muito suaves (Hungar, Leroueil & Picarelli 2014). Os autores acrescentam que os escorregamentos translacionais em solos tendem a ocorrer em materiais homogêneos e usualmente coesivos, sofrendo pouca deformação interna durante o processo e com velocidades baixas a altas, podendo ser extremamente rápidos em solos colapsíveis.

Os escorregamentos em cunha são condicionados por duas superfícies de ruptura, e o movimento ocorre sobre a linha de interseção desses dois planos, em materiais rochosos. São caracterizados como movimentos de grande velocidade e podem ocorrer em variados tipos de rocha.

### **2.3.2 Quedas**

As quedas ocorrem quando há um desprendimento abrupto de blocos ou matacões de um maciço rochoso, condicionados por descontinuidades pré-existentes de natureza geológica ou estrutural (Figura 2.1c). Esse desprendimento se dá por meio da ação do intemperismo físico e químico entre as descontinuidades. O material rochoso desprendido pode rolar e atingir velocidades e distâncias variáveis a depender da declividade da encosta e do tipo de material envolvido. Os blocos adquirem movimentos de queda livre, saltamento ou rolamento, cujas velocidades variam de rápido a muito rápido (Varnes 1978).

Além de rochas, quedas também podem envolver fragmentos de solo com grandes clastos ou blocos de solo coeso, cujo mecanismo de ruptura é semelhante ao envolvido em materiais rochosos, porém implica em impactos reduzidos devido à baixa resistência dos materiais envolvidos. O mesmo pode ocorrer nos processos que envolvem blocos de gelo, que tendem quebrar em fragmentos menores devido ao impacto e envolvem volumes limitados de material (Hungar, Leroueil & Picarelli 2014).

### **2.3.3 Tombamentos**

Os tombamentos são movimentos gerados pela rotação do material que se desarticula no sentido de maior alívio das forças (para frente) a partir de um eixo central de deslocamento que se encontra na base do material (Figura 2.1d). Este movimento é mais freqüente quando o maciço possui fraturas verticais ou subverticais e, pode ser combinado com quedas de blocos e escorregamentos, gerando os movimentos complexos. Quando associados à rocha, essa deve ser relativamente maciça e a rotação ocorre em descontinuidades basais bem definidas. Eles são deflagrados por ação da gravidade e por forças exercidas pelos materiais adjacentes ou por fluidos (água ou gelo) presentes nas descontinuidades, e sua velocidade varia de extremamente lenta a extremamente rápida. Quando em solo, este deve apresentar características de alta coesão e descontinuidades verticais, não sendo necessárias as fraturas basais.

### **2.3.4 Rastejo**

Rastejo é um movimento lento, que, diferente dos escorregamentos, ocorre de forma gradual e em terrenos de declividade variada, inclusive baixa. Pode ser consequência de períodos de chuva acumulada ou de grande intensidade que promovem uma saturação do solo e consequente desestabilização do mesmo devido a elevação do nível d'água subterrâneo. Pode ainda ser acelerado por ações antrópicas no que concerne ao uso e ocupação do solo. Por ser um movimento lento, promove sinais no terreno, tais como: trincas no solo ou degraus de abatimento; tronco de árvores curvadas; cercas inclinadas; postes tombados; e que permitem sua identificação (Figura 2.1e).

Esse tipo de movimento ocorre de forma quase imperceptível, podendo envolver solo e rocha e é causado por tensão cisalhante suficiente para produzir deformação, em uma situação anterior a uma ruptura grave. Hungr, Lerouell e Picarelli (2014) acrescentam que esse tipo de movimento se trata de uma deformação gravitacional em larga escala, sem uma superfície de ruptura definida e com taxas de velocidade extremamente baixas ou imensuráveis.

### **2.3.5 Corridas ou fluxos**

As corridas, também chamadas de fluxos, são movimentos de alta energia e grande poder destrutivo, e podem envolver conteúdos rochosos, troncos vegetais, solos e sedimentos de granulometrias diversas. Possuem uma distribuição contínua durante o deslocamento e movimentam-se como um líquido viscoso devido à grande concentração de água (Figura 2.1f).

Segundo o IPT (2014), a deflagração desse movimento ocorre em drenagens localizadas nos topos de serra, onde, desencadeado por evento pluviométrico de grande energia em áreas já saturadas

devido às precipitações antecedentes, ocorre a mobilização do material e a geração de fluxos de alta velocidade que se deslocam para as áreas de menor declividade situadas à jusante.

Hungr, Leroueil e Picarelli (2014) caracterizam as corridas como movimentos de velocidade rápida a extremamente rápida de detritos em um canal íngreme, envolvendo um arraste potente de detritos e água durante o fluxo. Os autores salientam sua diferença em relação a outros movimentos gravitacionais de massa, uma vez que tendem a ocorrer periodicamente segundo trajetórias previamente estabelecidas, como barrancos e canais de drenagem. Envolvem materiais diversos, pois, uma vez que o movimento tem início, a erosão nas paredes dos canais tende a adicionar materiais adjacentes ao fluxo, como detritos orgânicos, materiais de solo e fragmentos de rocha.

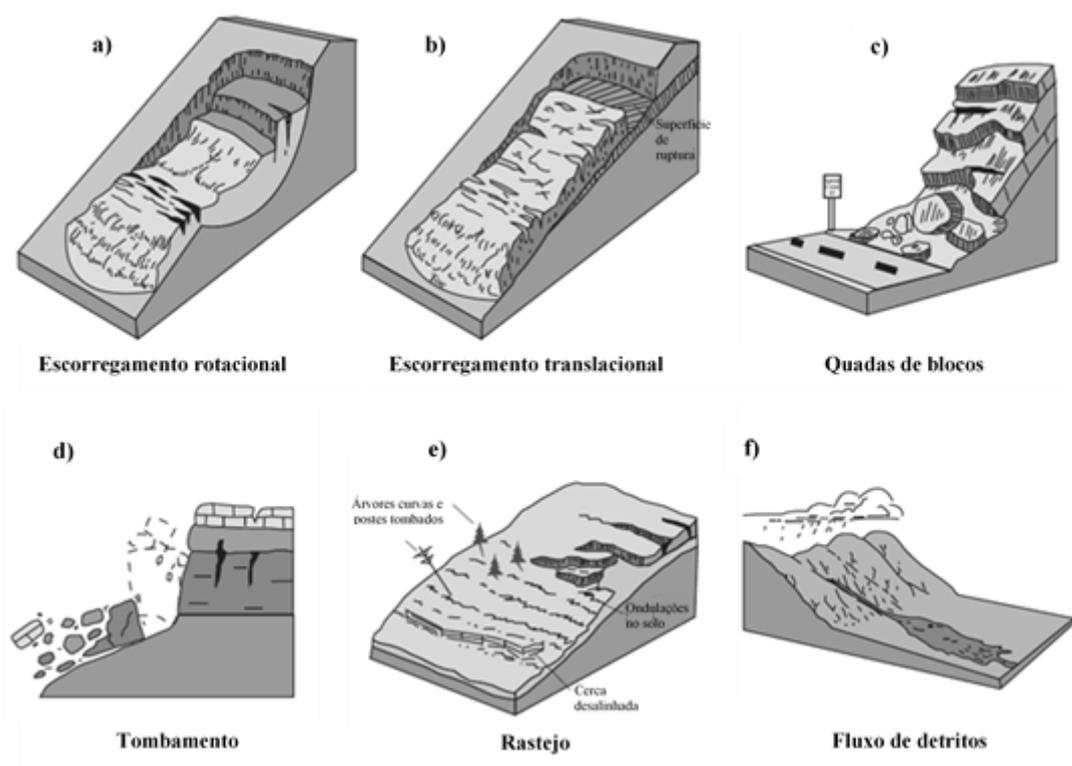


Figura 2.1 - Movimentos de massa gravitacionais apresentados por Varnes, 1978. Adaptado de USGS (2004.)

## 2.4 FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Os processos envolvidos nos movimentos gravitacionais de massa são causados por uma série de fatores que podem ser chamados de condicionantes e deflagradores do movimento e levam às consequências geradas pelos acidentes geotécnicos. Esses eventos ocorrem sob a influência de fatores

geológicos, topográficos e climáticos comuns a áreas extensas, e o entendimento de suas causas é fundamental para evitar e controlar novos desastres dessa natureza (Varnes 1978).

Segundo Cruden & Lan (2015) a mudança de um estado estável de uma encosta para um estado ativo é dividida em duas fases intermediárias: (1) Um estado preparatório em que as causas do movimento tornam a encosta instável sem iniciar o movimento e (2) um estado precedente em que as causas daflagadoras podem iniciar o movimento.

Os fatores predisponentes são aqueles relacionados às condições inerentes ou básicas do meio que afetam a estabilidade como: a geologia, que engloba a litologia e as estruturas do material (fraturas e discontinuidades); a geomorfologia, as condições hidrológicas e climáticas, e a vegetação (Varnes 1984). Os agentes deflagradores são aqueles que causam diretamente o movimento, como chuvas intensas; degelo; terremotos, entre outros.

Cruden & Lan (2015) consideram quatro grupos de causas de ocorrência de movimentos gravitacionais de massa, sendo elas:

1. **Condições do material:** características inerentes ao material sobre o qual a encosta se desenvolveu, tais como: composição do solo ou rocha; penetrabilidade de discontinuidades, xistosidade, acamamento ou clivagem; espaçamento entre fraturas e fissuras; orientação de estruturas como falhas, inconformidades e contatos geológicos.
2. **Processos geomorfológicos:** diz respeito aos processos que causaram mudanças na morfologia original de um terreno, como por exemplo modificações geradas pela erosão fluvial ou por uma elevação tectônica. Esses processos podem ser documentados por mapas geológicos e topográficos, fotos aéreas ou ainda pela percepção da população local.
3. **Processos físicos:** ocorrem em decorrência de modificações físicas no ambiente da encosta que podem ser registradas por uma instrumentação adequada. Pluviômetros permitem estimar a quantidade de precipitação, sismógrafos registram e medem os efeitos de movimentações no terreno causadas por terremotos e piezômetros medem a pressão interna da água subterrânea e suas alterações ao longo do tempo.
4. **Processos artificiais:** resultados da ação antrópica em encostas e ocorrem em decorrência, por exemplo, de escavações e construções, sendo documentados por mapas e fotos aéreas.

O estudo das causas naturais e artificiais é utilizado para avaliação de suscetibilidade, perigo e risco do terreno, pois esses promovem diretamente a instabilidade contribuindo para a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa. Assim, são mostrados a seguir os principais conceitos e métodos de análise relacionados ao estudo desses movimentos.



## CAPÍTULO 3

### FORMAS DE AVALIAÇÃO DOS MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

---

#### 3.1 CONCEITOS BÁSICOS

Para a compreensão dos estudos sobre movimentos gravitacionais de massa, algumas definições são apresentadas, conforme definidas por Varnes (1984):

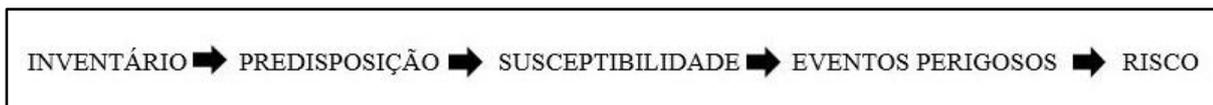
- **Zoneamento:** divisão de áreas homogêneas de acordo com o risco, perigo ou suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa aos quais elas estão submetidas.
- **Perigo Natural:** definida pela probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural com potencial de causar consequências indesejáveis, dentro de um período ou intervalo de tempo específico, dada uma área de ocorrência.
- **Elementos em risco:** diz respeito aos elementos sujeitos à avaria, dado um movimento gravitacional de massa em uma área específica. População, atividades econômicas, infraestrutura e construções públicas são exemplos de elementos de risco.
- **Vulnerabilidade:** grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos como resultado de um fenômeno natural com potencial de estragos de uma determinada magnitude. É expresso em uma escala de 0 (nenhuma perda) a 1 (perda total).
- **Risco:** é uma medida da probabilidade e severidade de uma situação de perigo, aonde existem perdas e danos ao homem, suas propriedades e ao meio ambiente associadas à possibilidade de ocorrência de um desastre natural. Pode ser definido como o produto da probabilidade de um evento acontecer pelas suas consequências. Seu resultado é dado pelo valor esperado de perdas humanas, feridos, estragos em construções e problemas causados às atividades econômicas devido a um potencial fenômeno natural associado a movimentos gravitacionais de massa.

Esses conceitos são essenciais para a cartografia geotécnica e são utilizados para a confecção dos mapas temáticos de Inventário, Predisposição, Suscetibilidade, Perigo e Risco, apresentados a seguir.

## 3.2 TIPOS DE AVALIAÇÃO DE MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA

Diferentes produtos, mapas e cartas, podem ser geradas para estudo e avaliação dos movimentos gravitacionais de massa a partir do levantamento dos fatores predisponentes e deflagradores relacionados ao movimento e os elementos em risco perante o evento (Nola 2015). Um modelo clássico de hierarquização dos produtos obtidos segue a sequência apresentada na Figura 3.1.

Primeiramente é necessário fazer o levantamento dos movimentos já ocorridos na área de estudo (inventário). Da mesma forma, também é preciso mapear e avaliar quais os fatores predisponentes relacionados ao evento a partir de um zoneamento de predisposição. Para análise da suscetibilidade, eventos perigosos e risco é necessário estudar como o agente deflagrador se comporta na área de estudo e, especificamente para o risco, devem ser levantados dados referentes aos elementos em risco caso aconteça o movimento de massa, são eles: população, propriedades, componente ambiental e fatores econômicos (Nola 2015).



**Figura 3.1** - Etapas de estudo de movimentos gravitacionais de massa em ordem de pesquisa.

De acordo com o propósito da análise e os diferentes atributos estudados para sua confecção, são gerados diferentes tipos de mapas, descritos a seguir.

### 3.2.1 Mapa de Inventário

Mapas de Inventário reúnem dados de localização, data de ocorrência e o tipo de movimento gravitacional de massa ocorrido em determinado local (Guzzetti *et al.* 2012), e tem como prioridade levantar, identificar e classificar feições de acidentes geológicos e geotécnicos em campo (Amaral Jr. 2007). São mapas gerados a partir da coleta de dados históricos sobre movimentos gravitacionais de massa, que proporciona a geração de um arquivo de dados sobre acidentes geológico-geotécnicos e sua distribuição no espaço (Malamud 2004).

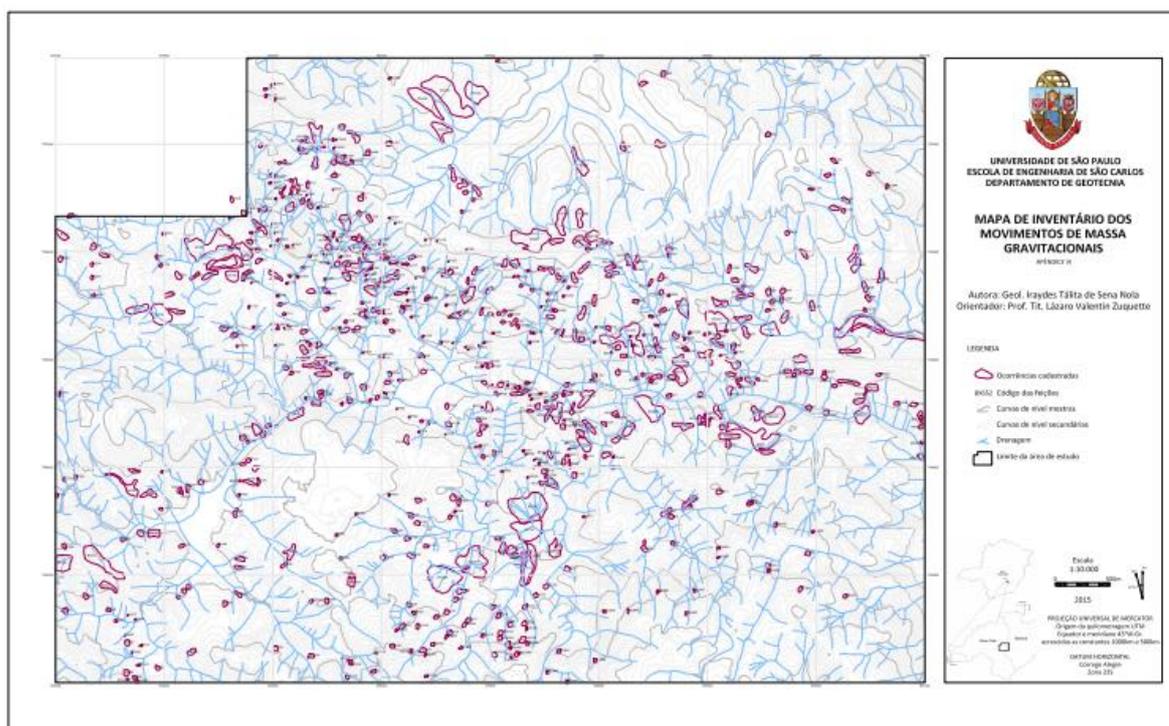
Existem diferentes técnicas envolvidas na preparação de um mapa de inventário, que variam de acordo com o propósito do documento em questão, a saber: a extensão da área analisada, a escala do mapa, resolução e características das imagens disponíveis, habilidades e experiências dos pesquisadores e os recursos disponíveis para a execução do projeto. Duas ou mais técnicas podem e devem ser combinadas para a preparação de um mapa de inventário com a intenção de melhorar o resultado final (Guzzetti *et al.* 2012). As informações contidas em mapas de inventário são

essencialmente baseadas em fatos, no entanto, eventualmente podem conter interpretações de atributos geomorfológicos através do uso de fotografias aéreas ou dados coletados em campo. Geralmente, inventários são as bases para todo o zoneamento e, portanto, é importante que a sua elaboração seja feita minuciosamente (Fell 2008).

Segundo Malamud (2004), mapas de inventário de eventos de movimentos gravitacionais de massa consistem em cadastrar todos os acidentes gerados por um único evento desencadeador como, por exemplo, chuvas de grande intensidade, e um inventário histórico consiste em reunir os movimentos gravitacionais de massa ocorridos dentre décadas, séculos ou mesmo milênios.

Esses mapas podem ser gerados a partir da análise de fotografias aéreas de diferentes datas, que fornecem informações de novas ocorrências dado um período restrito de tempo. Normalmente, um mapa descreve todos os tipos de movimentos gravitacionais de massa, porém, podem ser produzidos mapas temáticos para cada tipo de acidente geotécnico, como, por exemplo, de escorregamentos ou queda de rochas (Malamud 2004).

Apresenta-se, como exemplo, o Mapa de Inventário dos Movimentos Gravitacionais de Massa elaborado por Nola (2015) para a cidade de Ouro Preto-MG (Figura 3.2).



**Figura 3.2** - Mapa de inventário dos movimentos gravitacionais de massa registrados na cidade de Ouro Preto/MG (Nola 2015).

### 3.2.2 Carta de Predisposição

O termo predisposição refere-se à característica natural e intrínseca do meio físico e o seu comportamento mediante a determinado evento desencadeador de movimentos gravitacionais de massa (Amaral Jr. 2007). Dessa forma, atributos como geologia, geomorfologia, condições climáticas, hidrologia e vegetação são levados em consideração para o condicionamento de determinada unidade a causar um movimento gravitacional de massa (Nola 2015).

Essas cartas apresentam os atributos levantados conforme sua predisposição, de menos predisposta a mais predisposta à ocorrência de um movimento gravitacional de massa (Nola 2015).

A Figura 3.3 apresenta um exemplo de carta de predisposição a movimentos gravitacionais de massa para a cidade de Ipatinga-MG, elaborado por Guimarães (2008) em sua tese de doutorado.

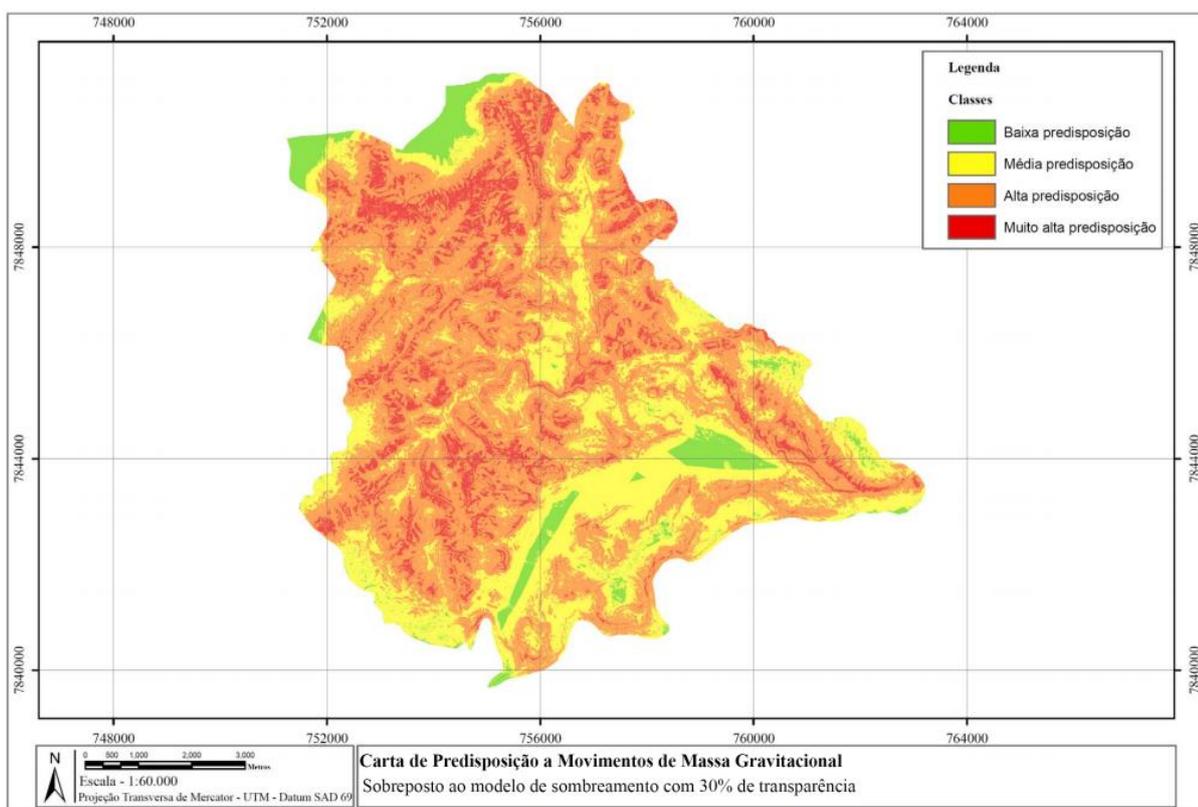


Figura 3.3- Mapa de predisposição a movimentos de massa do município de Ipatinga -MG (Guimarães 2008).

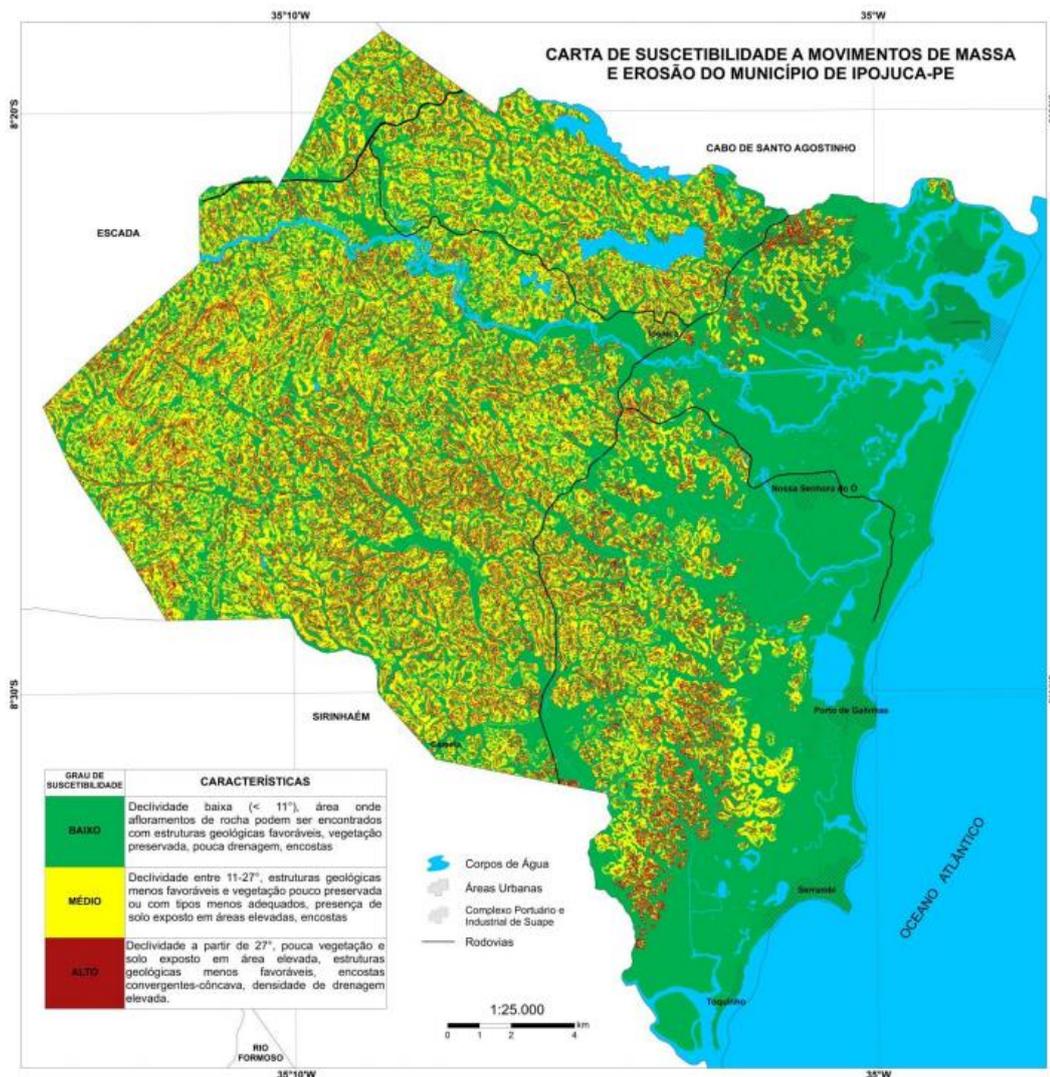
### 3.2.3 Carta de Suscetibilidade

A suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa é uma análise resultante da distribuição espacial e o zoneamento territorial de acordo com a propensão da área de produzir acidentes geológico-geotécnicos. Ou seja, é a propensão de uma área à ocorrência de movimentos gravitacionais de massa com base nas condições locais do terreno (Parise 2001).

Cartas de suscetibilidade são geradas pelo cruzamento dos dados do inventário de movimentos gravitacionais de massa aos atributos referentes ao meio físico (como litologia, pedologia, declividade e clima) e mapas geomorfológicos gerados pela interpretação de fotos aéreas, imagens de satélites e trabalhos de campo. O produto da combinação dessas informações é uma análise qualitativa e quantitativa onde há um zoneamento de baixa, média ou alta suscetibilidade (Fell 2008; Fontes 2011).

Fell et al. (2008) ainda ressalta que uma mesma área pode ser alvo de diferentes movimentos gravitacionais de massa com valores de suscetibilidade diferentes, e por isso devem ser feitas análises separadas para cada um deles. Posteriormente, compila-se os dados obtidos em um mapa de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa global.

Como exemplo de um mapa de suscetibilidade apresenta-se (Figura 3.4) publicada por Torres (2014) para município de Ipojuca-PE, região costeira do nordeste brasileiro.



**Figura 3.4** - Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa e erosão do município de Ipojuca-PE. (Torres 2014).

### 3.2.4 Carta de Perigo

O termo Perigo (*Hazard*) é associado a uma condição onde há potencial para a geração de consequências negativas dado um intervalo de tempo (Fell 2008). Ainda segundo o autor, o zoneamento de eventos perigosos deve ser feito para a área sujeita a tais condições, em um período específico.

Parise (2001) e Guzzetti et al (1999) discorrem que a avaliação de perigo deve ser realizada a partir do estudo da magnitude do movimento (intensidade do fenômeno e seu poder destrutivo), do seu tempo de recorrência (frequência temporal do evento) e da sua localização (distribuição espacial). Entretanto, os dados de recorrência são os mais difíceis de serem adquiridos e, devido a isso, as cartas de perigo podem apresentar insuficiência de dados.

Segundo Fontes (2011), os métodos qualitativos de análise são subjetivos e definidos pelo julgamento do profissional que está realizando o trabalho, baseando-se em análises de campo e interpretação de fotos aéreas. Os métodos quantitativos são análises estatísticas que apresentam valores de probabilidade de ocorrência de eventos geotécnicos em uma determinada área. O produto é uma carta onde o zoneamento divide as classes de perigo de baixo a muito alto, como por exemplo o zoneamento proposto por Fontes (2011) de perigo a escorregamentos da cidade de Ouro Preto – MG (Figura 3.5).

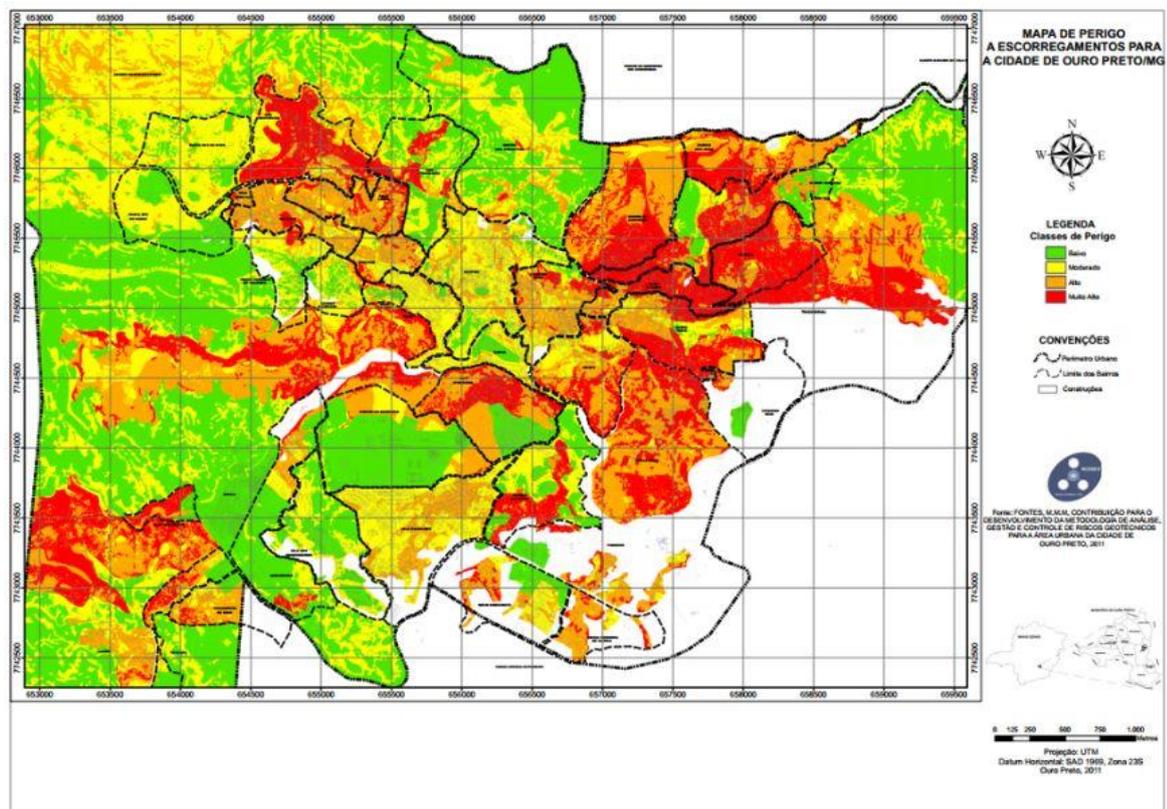


Figura 3.5 - Mapa de Perigo a escorregamentos para cidade de Ouro Preto/MG (Fontes 2011).

### 3.2.5 Carta de Risco

As cartas de risco possuem uma análise mais complexa do que as anteriores uma vez que, além da análise de probabilidade da ocorrência de um movimento gravitacional em uma determinada área, também levam em conta os danos aos elementos do meio (Amaral Jr 2007). O zoneamento de risco depende dos elementos de risco, da probabilidade de ocorrência do evento dado um tempo e um espaço, e da sua vulnerabilidade (Fell et al. 2008).

Assim, o risco pode ser entendido como o produto da probabilidade de ocorrência de um evento pelas consequências de âmbito social e econômico, e, de acordo com Varnes (1984), pode ser obtida pela equação:

$$\text{RISCO} = \text{PERIGO} \times \text{ELEMENTOS EM RISCO} \times \text{VULNERABILIDADE}$$

A carta de risco apresenta, em seu produto, uma classificação de varia baixo a alto ou muito alto, por exemplo. Roque (2013) publicou uma carta de risco a escorregamentos para a cidade de Viçosa – MG , cujo resultado pode ser visto na Figura 3.6.

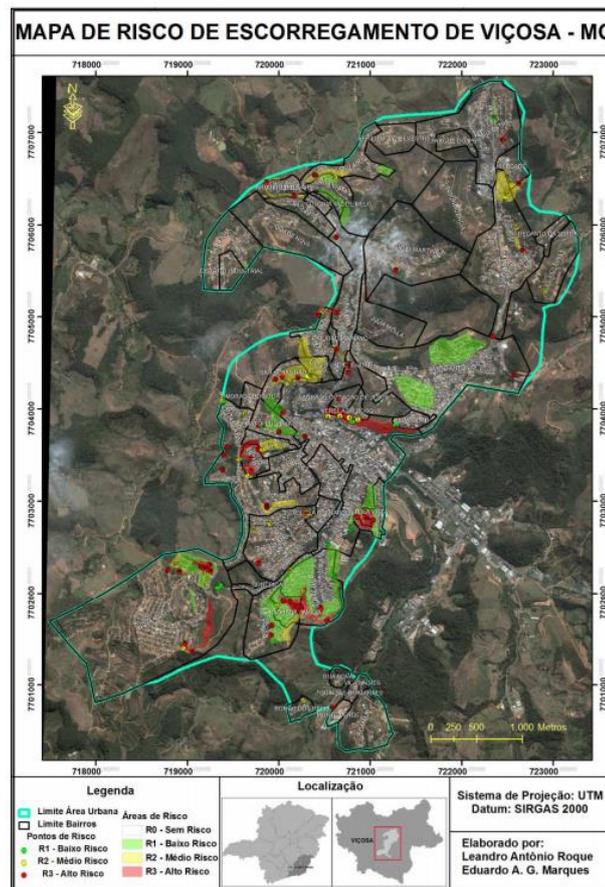


Figura 3.6 - Mapa de risco a escorregamentos de Viçosa-MG (Roque 2013).

A cidade de Ouro Preto - MG, devido ao recorrente histórico de movimentos gravitacionais de massa, foi alvo de diferentes estudos geotécnicos ao longo do tempo e muitos autores se dedicaram a analisar os seus fatores condicionantes e as consequências desses acidentes geotécnicos. Desta forma, apresenta-se, a seguir, um breve histórico sobre os movimentos de massa nesta cidade.

### MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA EM OURO PRETO

---

#### 4.1 HISTÓRICO GERAL DOS PROBLEMAS GEOTÉCNICOS

A cidade de Ouro Preto está inserida em um complexo cenário, onde as condições naturais geológicas e geomorfológicas criam um contexto de instabilidade geotécnica. A situação é ainda agravada pela ação antrópica, resultado principalmente de uma ocupação do solo desordenada e pelas intensas modificações do relevo original das serras, oriundas das atividades mineradoras que tiveram início no final do século XVIII (Pinheiro *et al* 2004).

Segundo Pinheiro *et al* (2004), devido às condições mencionadas anteriormente, eventos relacionados a movimentos de massa são registrados na região de Ouro Preto desde o período colonial, quando a mineração de ouro começou a ser desenvolvida de forma intensa e as questões de segurança eram negligenciadas.

O crescimento da malha urbana de Ouro Preto, que até os anos 1950 se restringia ao núcleo histórico preservado e algumas áreas adjacentes, ocorreu sobre áreas ainda mais problemáticas. A partir dos anos 60, antigas áreas de mineração passaram a ser ocupadas e o crescimento populacional e a migração das zonas rurais para os centros urbanos, que ocorreram nos anos 1970 no Brasil, refletiram na desordenada ocupação de Ouro Preto. A partir desse período, a ocorrência de movimentos gravitacionais de massa tornou-se mais frequente, principalmente em períodos de chuva (Sobreira 2001).

O ano de 1979 ficou marcado pela elevada ocorrência de acidentes geológicos no município, resultando em grandes perdas materiais, inclusive danos ao patrimônio histórico e cultural da cidade, causados pelos elevados índices pluviométricos (Fontes 2011) e suas consequências culminaram na publicação da primeira Carta Geotécnica de Ouro Preto (Carvalho 1982). Segundo os dados obtidos por Bonuccelli & Zuquette (1999), os movimentos de massa gravitacionais concentram-se principalmente na zona urbana, envolvendo não apenas perdas materiais, mas também humanas. Em 2012, um escorregamento ocorrido no bairro São Francisco causou a morte de dois taxistas que no momento do acidente estavam na Rodoviária de Ouro Preto (Figura 4.1).

Face a esse contexto, destaca-se a importância da cartografia geotécnica para o zoneamento hierárquico das áreas de suscetibilidade a movimentos de massa gravitacionais e de zonas de risco, identificando as regiões mais propensas a serem atingidas por problemas de natureza geológica e possibilitando formas de reduzir as perdas e os danos relacionados aos desastres geotécnicos.



**Figura 4.1** - Escorregamento ocorrido em 2012, em Ouro Preto, na encosta acima da rodoviária. Fonte: Prefeitura de Ouro Preto (2018).

## **4.2 DOCUMENTOS E ESTUDOS GEOTÉCNICOS REALIZADOS EM OURO PRETO**

Diante do recorrente histórico de acidentes geológico-geotécnicos registrados na área do município de Ouro Preto, diversos estudos foram realizados na região e diferentes cartas de zoneamento geotécnico foram produzidas com o intuito de fornecer ferramentas e subsídios para evitar perdas humanas e materiais em consequência dos movimentos gravitacionais de massa. Alguns dos principais estudos sobre o assunto são descritos a seguir.

### **4.2.1 Souza (1996)**

O trabalho realizado por Souza (1996) resultou de um mapeamento geotécnico do município de Ouro Preto em escala 1:10.000 com base na suscetibilidade aos movimentos gravitacionais de massa e os processos correlatos a eles associados. 319 registros foram inventariados nesse estudo, a partir de trabalhos de campo e fotointerpretação de fotos aéreas do ano de 1969 e aerofotos de 1978. A caracterização geotécnica quali-quantitativa foi realizada em uma área de 45Km<sup>2</sup> (quarenta e cinco quilômetros quadrados) e teve como produto mapas e cartas temáticos e seus respectivos textos explicativos.

#### **4.2.2 Bonuccelli (1999)**

O estudo de Bonuccelli (1999) foi baseado na análise dos processos registrados e produziu um inventário de movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos na área urbana do município de Ouro Preto registrados pela Defesa Civil, resultando em um inventário com 335 feições, com base em trabalhos de campo e fotointerpretação. O trabalho baseou-se nas seguintes características: tipos de processos e de materiais envolvidos, dimensões e estado de atividade.

#### **4.2.3 Castro (2006)**

Castro (2006) realizou seu trabalho a partir da correlação entre os movimentos gravitacionais de massa e os valores médios de precipitação, levando em consideração que a chuva é um dos principais agentes deflagradores dos acidentes geológico-geotécnicos. O período analisado pelo estudo é compreendido de 1988 a 2004, a partir de 417 (quatrocentas e dezessete) ocorrências de movimentos relacionadas às chuvas, sendo considerados os índices pluviométricos registrados diariamente em uma estação dentro do município. Com base no registro, mapeou-se às áreas mais críticas da cidade em relação ao risco: alto, médio e baixo.

#### **4.2.4 Nola (2015)**

Nola (2015) utilizou de dados geológicos e geotécnicos gerados em trabalhos de mapeamento geotécnico anteriores para a elaboração de uma carta de perigo em uma área de 45Km<sup>2</sup> (quarenta e cinco quilômetros quadrados) no município de Ouro Preto. A partir da compilação e tratamentos de dados pré-existentes, a autora compilou 15 diferentes cartas e mapas e considerou 693 registros inventariados, o que permite o desenvolvimento de uma metodologia para análise a partir da técnica de redes neurais artificiais e probabilidade condicional.

#### **4.2.5 Xavier (2018)**

O trabalho publicado por Xavier (2018) teve como objetivo a criação de um banco de dados padronizado dos movimentos gravitacionais de massa registrados na cidade de Ouro Preto desde o ano de 1979, com o objetivo de identificar as áreas mais críticas, bem como os tipos de eventos e materiais envolvidos mais comum, resultando em um banco de dados com 1166 registros. O autor também gerou uma carta de suscetibilidade do município através de métodos estatísticos.

Os vários estudos realizados no município de Ouro Preto trouxeram à literatura diversos métodos de elaboração da cartografia geotécnica visando a análise de suscetibilidade, perigo e risco na

região. Dois outros trabalhos, de Carvalho (1982) e Fontes (2011), serão apresentados a seguir a fim de detalhar suas metodologias e resultados para embasamento do que se propõe neste estudo.

### 4.3 A PRIMEIRA CARTA GEOTÉCNICA DE OURO PRETO

A ideia da criação da primeira Carta Geológica e Geotécnica de Ouro Preto foi estabelecida no Seminário de Ouro Preto, evento promovido em maio de 1979 pela Sociedade de Ex-Alunos da escola de Minas de Ouro Preto, Secretária do Patrimônio Histórico e Artístico Natural e Prefeitura Municipal de Ouro Preto. O seminário ocorreu após as intensas chuvas de 1979 que resultaram em desastres geológicos-geotécnicos na região e colocaram em risco o Patrimônio Histórico do município.

Assim, Carvalho (1982) publicou a Carta Geotécnica de Ouro Preto em escala 1:2000 como resultado da sua dissertação de mestrado. A elaboração desta carta se deu através da combinação de dois documentos intermediários por ele criados: a Carta de Qualidade de Terrenos e a Carta de Declividade, tendo por objetivo evitar que acidentes como os de 1979 voltassem a ocorrer na região.

Para a Carta de Qualidade de Terrenos, Carvalho (1982) levou em consideração fatores geológicos, condições hidrogeológicas, morfologia e processos geodinâmicos. Por fatores geológicos, o autor analisou a litologia, o estado de alteração dos materiais e a geologia estrutural, levantados por meio trabalhos de campo cujo caminhamento foi anteriormente determinado por fotointerpretação. Tanto as condições hidrogeológicas quanto os processos geodinâmicos também foram analisados nesses caminhamentos e considerados para a geração do documento final. A análise permitiu a separação de três classes de qualidade de terrenos: boa, média e má.

A Carta de Declividade resultou da leitura dos espaçamentos do mapa de curvas de nível, criando seis classes, cujos limites são apresentados na Tabela 4.1. Dessa forma, as classes abrangem a distribuição natural do relevo, desde áreas artificialmente aplainadas, na classe 1, bem como as escarpas naturais e os taludes de escavação, na classe 6.

**Tabela 4.1** - Classes de declividade atribuídas por Carvalho (1982).

<b>Classe</b>	<b>Declividades</b>
<b>1</b>	< 6°
<b>2</b>	6° - 11°
<b>3</b>	11° - 22°
<b>4</b>	22° - 31°
<b>5</b>	31° - 45°
<b>6</b>	> 45°



#### 4.4 A CARTA DE SUSCETIBILIDADE DE FONTES (2011)

O recorrente histórico de acidentes geológico-geotécnicos, principalmente na região sudeste do Brasil, bem como o uso e ocupação desordenados do solo, motivaram Fontes (2011) a implementar uma metodologia de caracterização dos problemas e riscos geotécnicos passíveis de ocorrência na área urbana da cidade histórica de Ouro Preto/MG.

A proposta metodológica do autor consistiu na utilização de ferramentas SIG para a produção de cartas geotécnicas, tendo produzido um mapa de suscetibilidade a escorregamentos, utilizando para isso conceitos de declividade, forma da encosta e litologia. Também foi gerado um mapa de perigo a escorregamentos, que traduz a probabilidade da ocorrência desses eventos e suas consequências em termos de perdas físicas, patrimoniais e de vidas humanas. Por fim, considerando as ocorrências registradas ao longo do tempo, foi produzido um mapa de risco a escorregamentos para o município.

Este trabalho consistiu no zoneamento de áreas suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa no município de Ouro Preto, considerando como atributos indutores à ocorrência de escorregamentos: a declividade, a forma das encostas e a litologia. Integrados aos dados dos condicionantes geológico-geotécnicos, o autor realizou inspeções e monitoramento de algumas encostas com inclinômetros.

Para elaboração do mapa, Fontes (2011) fixou índices de suscetibilidade com base na hierarquização dos fatores do terreno e ponderados em função do meio físico local. O índice de suscetibilidade foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$IST = (DE \times 0,60) + (FE \times 0,10) + (LI \times 0,30) \quad (1)$$

sendo IST - Índice de Suscetibilidade; DE - Declividade; FE - Forma da Encosta (convexa, retilínea ou côncava) e LI - Litologia.

De acordo com a combinação desses critérios, o autor gerou um mapa de suscetibilidade que classificou a área urbana de Ouro Preto em quatro classes de suscetibilidade: baixa, média, alta e muito alta (Figura 4.3). Para isso, o autor utilizou o software *ArcGIS 9.3*, fazendo uma análise multicritério que resultou na compartimentação do terreno.

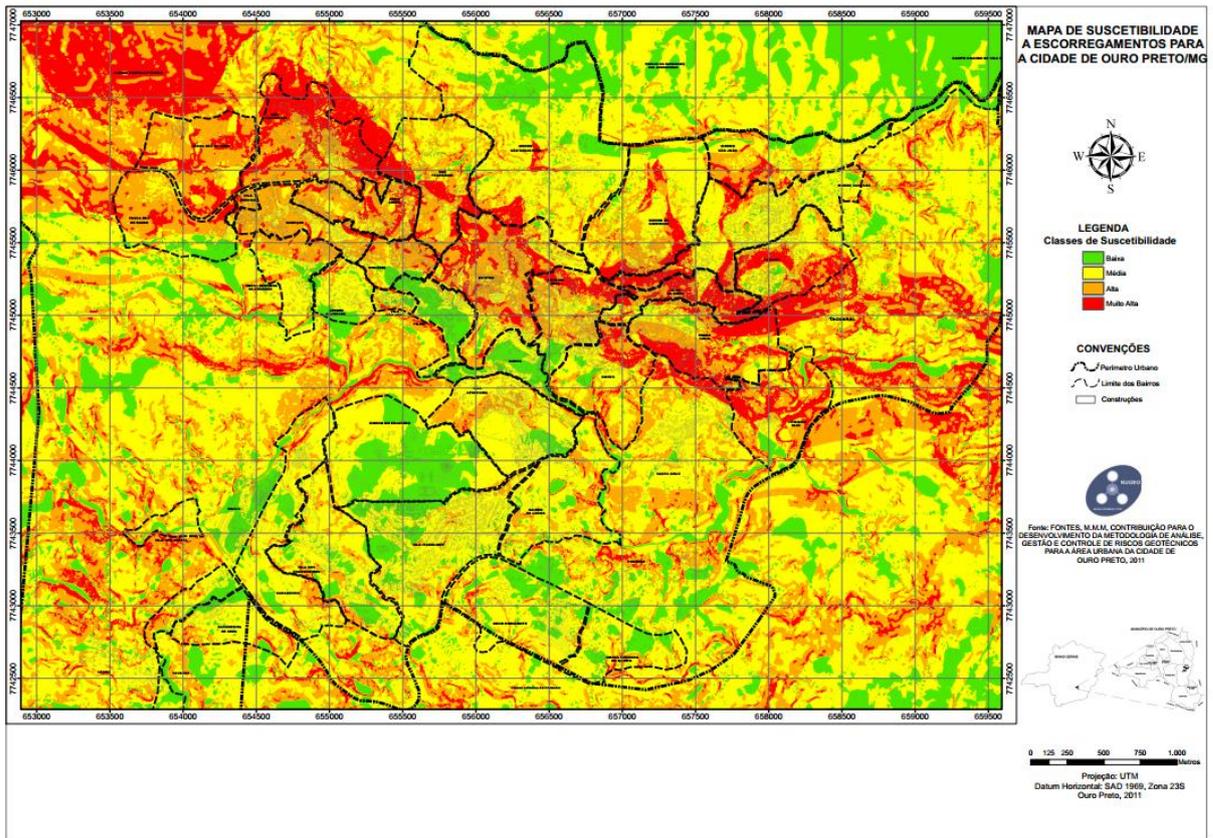


Figura 4.3 - Mapa de suscetibilidade a escorregamentos proposto por Fontes (2011).



#### 5.1 LOCALIZAÇÃO

A área de estudo compreende o município de Ouro Preto e localiza-se na porção centro sul do Estado de Minas Gerais, dista cerca de 90 km (noventa quilômetros) (por terra) da capital do estado no sentido sudeste (Figura 5.1). Segundo Alkimin e Marshak (1988), o município em questão situa-se na extremidade sudeste da região conhecida como Quadrilátero Ferrífero, onde os principais elementos da paisagem na área urbana são: a Serra de Ouro Preto e o Pico do Itacolomi.



**Figura 5.1** – Localização do distrito sede da cidade de Ouro Preto/MG.

#### 5.2 CLIMA

Ouro Preto caracteriza-se, em termos climáticos, por apresentar verões suaves e invernos brandos, além de possuir uma elevada taxa de pluviosidade total. As características básicas da região enquadram-se no clima tropical de montanha, onde a baixa latitude é compensada pela altitude e pela conformação orográfica (Carvalho 1982). Em termos de temperaturas, janeiro se destaca por ser o mês mais quente e úmido, enquanto julho é o período mais frio e seco, e a média anual de temperatura é de 18,5° (Castro 2006).

A média anual de pluviosidade é de 1.610,1 mm (Castro 2006) e o regime pluviométrico é dado como tropical. A alta pluviosidade de Ouro Preto concentra-se no período compreendido pelos meses de outubro e março, representando 87% dos valores pluviométricos totais, como pode ser

observado na Figura 5.2 que apresenta os índices pluviométricos médios para cada mês (série 1988 a 2004) levantados por Castro (2006).

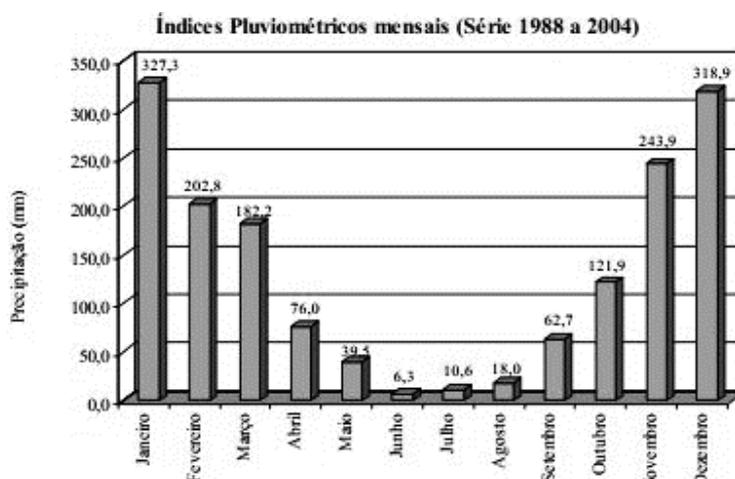


Figura 5.2 - Índices pluviométricos mensais de Ouro Preto. Fonte: (Castro 2006).

### 5.3 GEOLOGIA

A cidade de Ouro Preto está inserida no Quadrilátero Ferrífero, região geológica e estruturalmente complexa, onde há ocorrências de depósitos minerais de ferro e ouro (Lobato *et al.* 2005).

Dentro do Quadrilátero Ferrífero, destacam-se 5 (cinco) unidades litoestratigráficas: o embasamento cristalino arqueano; Supergrupo Rio das Velhas; Supergrupo Minas; rochas intrusivas pós Supergrupo Minas, e, por fim, o Grupo Itacolomi. A coluna estratigráfica elaborada por Alkimin e Marshak (1998) (Figura 5.3) apresenta a conformação dessas unidades litoestratigráficas no Quadrilátero Ferrífero.

O embasamento cristalino é composto por rochas arqueanas, referentes a um complexo migmatítico-gnaíssico e plútons arqueanos e estão sotopostas às rochas do Supergrupo Rio das Velhas, que correspondem a uma sequência vulcanossedimentar arqueana representada pelo Grupo Nova Lima, composta por xistos com complexa variedade litológica.

O Supergrupo Minas ocorre em inconformidade com as rochas do Supergrupo Rio das Velhas, e trata-se de uma unidade metassedimentar paleoproterozóica de quartzitos, itabiritos, formações ferríferas bandadas, filitos, xistos e metaconglomerados correspondentes aos grupos Caraça, Itabira, Piracicaba e Sabará.

Por fim, as rochas do Grupo Itacolomi compreendem metaarenitos grosseiros e conglomerados polimíticos sendo significativamente mais novos que a maioria das rochas do Supergrupo Minas (Alkimin & Marshak 1998).

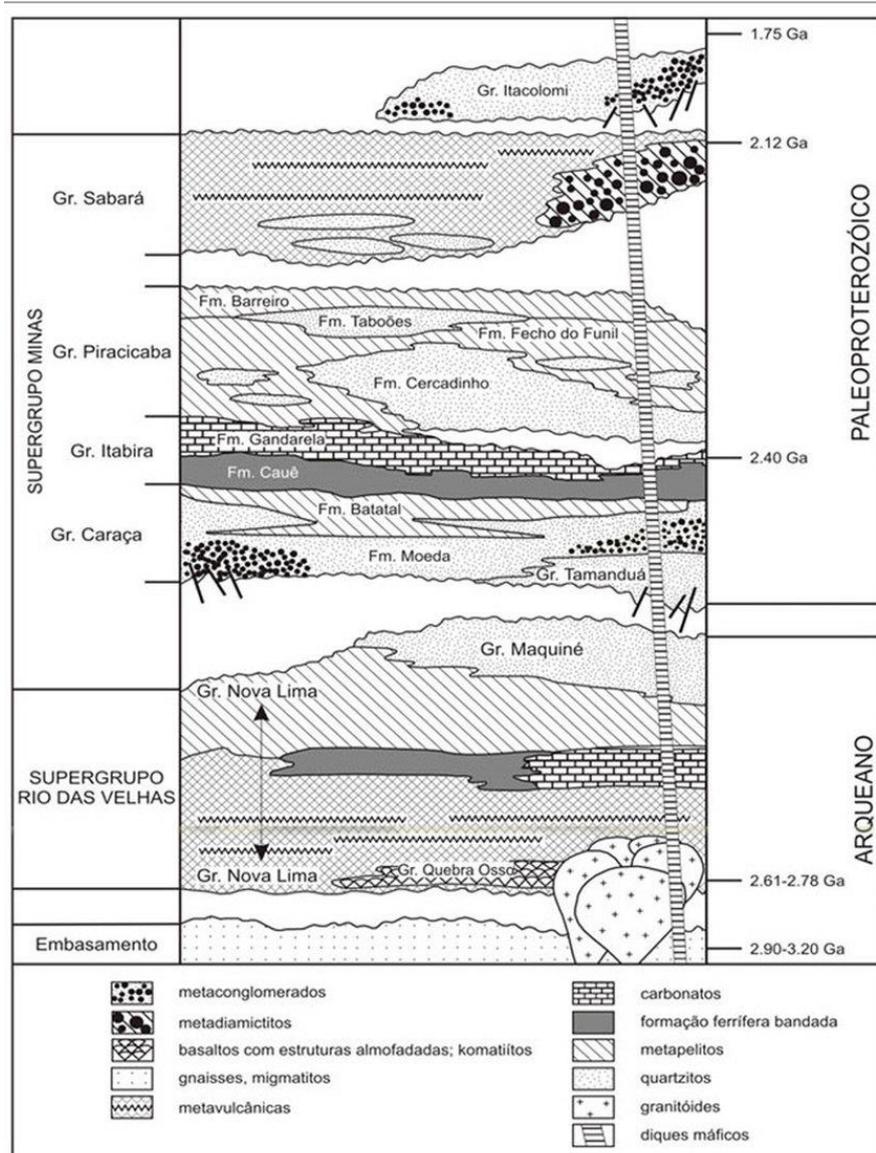


Figura 5.3- Coluna estratigráfica do Quadrilátero Ferrífero (Alkimin e Marshak 1998)

#### 5.4 CONTEXTO FISIAGRÁFICO E GEOMORFOLÓGICO

A cidade de Ouro Preto está inserida em um vale limitado pela Serra de Ouro Preto na porção norte e, ao sul, pela Serra do Itacolomi, por onde corre o Córrego do Funil (Gomes *et al.* 1988). Dentre os elementos fisiográficos locais, a Serra de Ouro Preto se destaca como a principal da região, limitando a malha urbana ao norte da cidade e constituindo um divisor de águas das bacias do Rio das Velhas e do Rio Doce. O relevo é acidentado, e vertentes íngremes e vales profundos destacam-se, e as altitudes variam de 1.060 m nas áreas mais baixas a 1.400 m no topo da Serra de Ouro Preto (Pinheiro *et al.* 2004).

A Serra de Ouro Preto, ao longo da qual o município se desenvolveu, faz parte do Anticlinal de Mariana, estrutura desenvolvida sobre as litologias do Supergrupo Rio das Velhas e do Supergrupo Minas, sendo conhecida como arqueamento Rio das Velhas (Lobato *et al.* 2005). O anticlinal possui a geometria de uma dobra aberta normal e o eixo possui caimento para sudeste, diferente das outras megadobras do Quadrilátero Ferrífero. As rochas que compõe os flancos dessa dobra encontram-se extremamente deformadas e, algumas estruturas anteriores, como acamamento ou foliações foram em parte obliteradas devido aos esforços tectônicos. O Anticlinal Mariana está associado a uma evolução polifásica, cujo movimento se deu preferencialmente na direção leste – oeste, conforme mostram os indicadores cinemáticos (Nalini Jr. *et al.* 1992).

No limite sul encontra-se a Serra do Itacolomi, que representa o flanco sul do Sinclinal Dom Bosco, estrutura regional com eixo de direção leste – oeste desenvolvida sobre as rochas do Grupo Itacolomi caracterizada por séries de falhas de rasgamento e empurrão (Dorr 1969).

# CAPÍTULO 6

## MATERIAIS E MÉTODOS

---

A fim de discutir a validade da Carta Geotécnica de Ouro Preto (Carvalho 1982) e da Carta de Suscetibilidade de Fontes (2011), desenvolveu-se um roteiro metodológico para discutir a cartografia geotécnica e avaliar o zoneamento de suscetibilidade em função do inventário de movimentos gravitacionais de massa que ocorreram posteriormente à data da publicação das cartas.

Dessa forma, o trabalho foi realizado conforme o fluxograma da figura 6.1 e está descrito de acordo com os itens a seguir:

### 6.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os capítulos iniciais do trabalho compreendem o estado da arte do assunto aqui tratado, e tem por objetivo introduzir os conceitos utilizados. Os assuntos debatidos foram divididos em três capítulos, na seguinte ordem:

- I. Movimentos Gravitacionais de Massa;
- II. Estudos sobre os Movimentos Gravitacionais de Massa;
- III. Movimentos Gravitacionais de Massa em Ouro Preto;

Assim, o primeiro capítulo aborda os conceitos básicos relacionados aos Movimentos Gravitacionais de Massa, bem como os principais tipos no contexto brasileiro. Além disso, discute-se os condicionantes naturais e artificiais que podem desencadear a ocorrência de eventos geotécnicos. Em sequência, são descritos os principais tipos de estudos em cartografia geotécnica para a confecção de mapas temáticos, que são utilizados para a previsão e prevenção de novos acidentes. No terceiro capítulo, apresenta-se um histórico geológico-geotécnico da cidade de Ouro Preto, salientando os estudos anteriores desenvolvidos sobre o tema. Nesse capítulo, são apresentadas as cartas Geotécnicas de Carvalho (1982) e Fontes (2011) e são descritas suas metodologias que resultaram no zoneamento das áreas de suscetibilidade de movimentos gravitacionais de massa. Por fim, a caracterização da área é composta pela apresentação das características climáticas, geológicas, fisiográficas e geomorfológicas do município, que contribuem para a situação de suscetibilidade geotécnica abordada no trabalho.

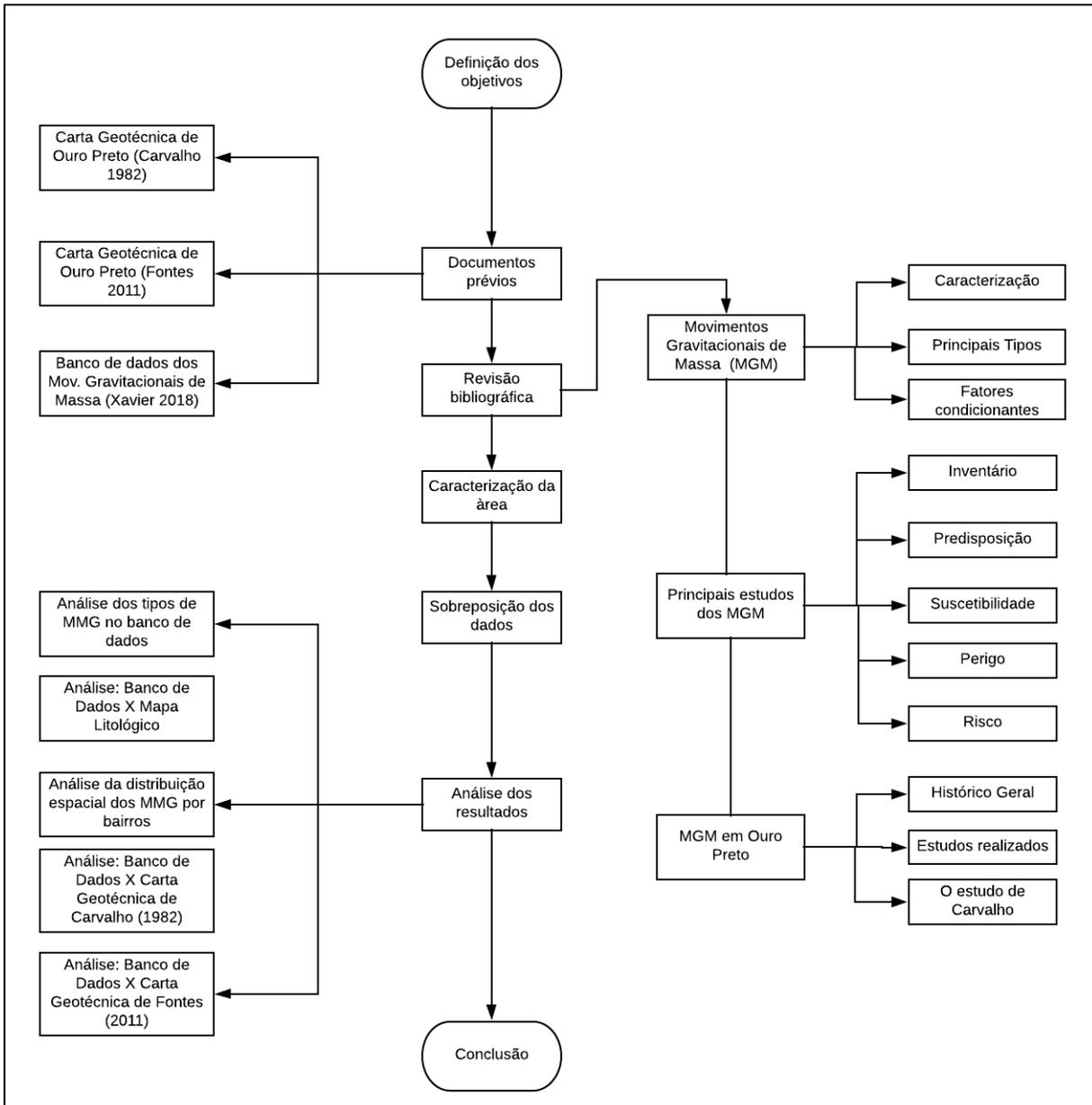


Figura 6.1 - Organização do Trabalho Banco de dados.

O banco de dados utilizado foi organizado e compilado por Xavier (2018), que aplicou em seu trabalho uma metodologia para quantificar os movimentos gravitacionais de massa ocorridos no município de Ouro Preto. Para isso, o autor analisou dados de diferentes fontes, dentre trabalhos acadêmicos, Defesa Civil e CPRM, e, de acordo com o detalhamento das informações fornecidas sobre cada evento (os parâmetros escolhidos foram: confiabilidade das coordenadas geográficas, tipo de evento geotécnico e material envolvido) classificou a confiabilidade dos dados como alta, média ou baixa.

No presente trabalho, foram utilizados os dados vetoriais pontuais criados por Xavier (2018) em que cada ponto corresponde a um movimento gravitacional de massa. Os autores dos dados analisados são: Defesa Civil Municipal, CPRM (2016), Bonuccelli (1999) e Souza (1996), totalizando 695 pontos.

## **6.2 SOBREPOSIÇÃO DE DADOS**

A fim de entender a distribuição dos eventos geotécnicos no município de Ouro Preto, fez-se uma sobreposição dos dados vetoriais pontuais organizados por Xavier (2018) a diferentes documentos utilizando o *software* ArcGIS 10.3. Cada um dos pontos que compõe a *shapefile* corresponde a um movimento gravitacional de massa registrado no banco de dados. Primeiramente, a sobreposição foi feita ao mapa litológico da CODEMIG (2017), procurando entender quais grupos e formações são mais frequentemente associados a movimentos de massa gravitacionais. Em sequência, analisou-se os bairros com a maior incidência de problemas geotécnicos, discutindo-se o crescimento urbano da cidade em relação a ocorrência de acidentes geológicos. Por fim, para discutir o índice de acertos das cartas geotécnicas elaboradas por Carvalho (1982) e Fontes (2011), fez-se a sobreposição da ao zoneamento de suscetibilidade proposto pelos autores. Os dados obtidos foram organizados em tabela utilizando o *software* Microsoft Office Excel.

## **6.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

De acordo com os dados obtidos a partir da sobreposição dos pontos referentes aos movimentos de gravitacionais de massa, foi feita a análise de alguns parâmetros relacionados aos problemas geotécnicos, aos quais a cidade de Ouro Preto está sujeita. Primeiramente, procurou-se entender quais tipos de eventos geotécnicos mais frequentes no município, de acordo com as fontes cadastradas no banco de dados. As análises do mapa litológico e da distribuição espacial dos eventos dentro do município permitiram um maior entendimento da concentração dessas ocorrências, com o objetivo de subsidiar uma análise mais completa da sobreposição do inventário de movimentos gravitacionais às cartas geotécnicas. Em sequência, foi feita a análise do índice de acertos da Carta Geotécnica de Ouro Preto publicada por Carvalho (1982) e da Carta de Suscetibilidade de Fontes (2011) com base na concentração de pontos do inventário sobre cada uma das áreas de suscetibilidade definidas pelos autores.



### 7.1 ANÁLISE DO BANCO DE DADOS

Conforme o exposto no capítulo anterior, o banco de dados utilizado neste trabalho foi organizado e elaborado por Xavier (2018) e, para apresentar suas principais características, fez-se um conjunto de análises do seu conteúdo em relação aos tipos de movimentos cadastrados, sua frequência e sua distribuição por bairros, além da sua sobreposição com o mapa litológico e duas cartas geotécnicas de Ouro Preto.

#### 7.1.1 Tipos de movimentos cadastrados no banco de dados

O banco de dados de movimentos de massa para a cidade de Ouro Preto, gerado e compilado por Xavier (2018), e utilizado neste trabalho, contempla as seguintes informações: identificação do ponto (organizados pela letra P e um número inteiro correspondente ao evento cadastrado, exemplo: P01); autor do banco de dados; ano do trabalho; confiabilidade do laudo; material predominante envolvido no movimento; tipo de movimento; ocorrência ou não de ações antrópicas que possam ter contribuído para o evento, tais como: corte, aterro e lançamento de esgoto; data da ocorrência; coordenadas geográficas UTM do local da ocorrência; precisão das coordenadas geográficas; atividade ou não do evento (ativa ou dormente); área envolvida; profundidade; formato da encosta; moradores em risco; edificações em risco; endereço e observações.

Ao todo o banco de dados reuniu 1166 movimentos de massa gravitacionais, sendo que a maior parte deles não congrega todas as informações listadas pelo autor, e identificam 7 tipos de movimentos diferentes através de pontos geográficos que correspondem ao local onde houve o processo geotécnico de instabilidade. Desses, 695 foram utilizados no presente trabalho, isto porque os demais pontos apresentavam baixa confiabilidade ou insuficiência de informações, como coordenadas UTM. A frequência dos movimentos recorrentes no município de Ouro Preto foi sumarizada na Tabela 7.1.

**Tabela 7.1** – Tipos de movimentos cadastrados no banco de dados.

<b>Tipo de movimento</b>	<b>Número de cadastros</b>
<b>Complexo</b>	169
<b>Queda</b>	143
<b>Escorregamento</b>	123
<b>Escorregamento translacional</b>	114
<b>Corrida</b>	41
<b>Escorregamento rotacional</b>	1
<b>Rastejo</b>	1

Dentre os acidentes geotécnicos avaliados, o tipo com o maior número de ocorrências se trata dos movimentos complexos, referentes a 169 do total de casos. Segundo Varnes (1978), movimentos complexos se caracterizam pela combinação de dois ou mais tipos de movimentos. O valor expressivo registrado nesse trabalho pode ser decorrente da dificuldade de identificação e conceitualização do movimento ocorrido.

Em seguida, foram inventariados 143 casos de quedas, envolvendo rolamento subsequente ou não. Conforme discutido no item 2.3.2, esse movimento gravitacional ocorre a partir do desprendimento de matacões ou blocos rochosos de um maciço, condicionados às discontinuidades pré-existentes. Sabe-se que o solo é pouco desenvolvido na região e há exposição rochosa, apresentando diversas discontinuidades. Este cenário predomina nas encostas da cidade e por isso o desprendimento de blocos pode ser favorecido, o que justifica esse alto número.

Há uma grande proeminência de escorregamentos, tendo sido catalogados 123. Os eventos não foram caracterizados pelo tipo de superfície sobre o qual se desenvolveu (rotacional ou translacional), sendo chamados apenas de “escorregamentos”. Neste caso, a dificuldade se dá pela falta de separação entre os dois tipos de escorregamento, apesar de que dado a geologia e o histórico dos movimentos gravitacionais nas encostas da cidade, sabe-se que predominam escorregamentos translacionais.

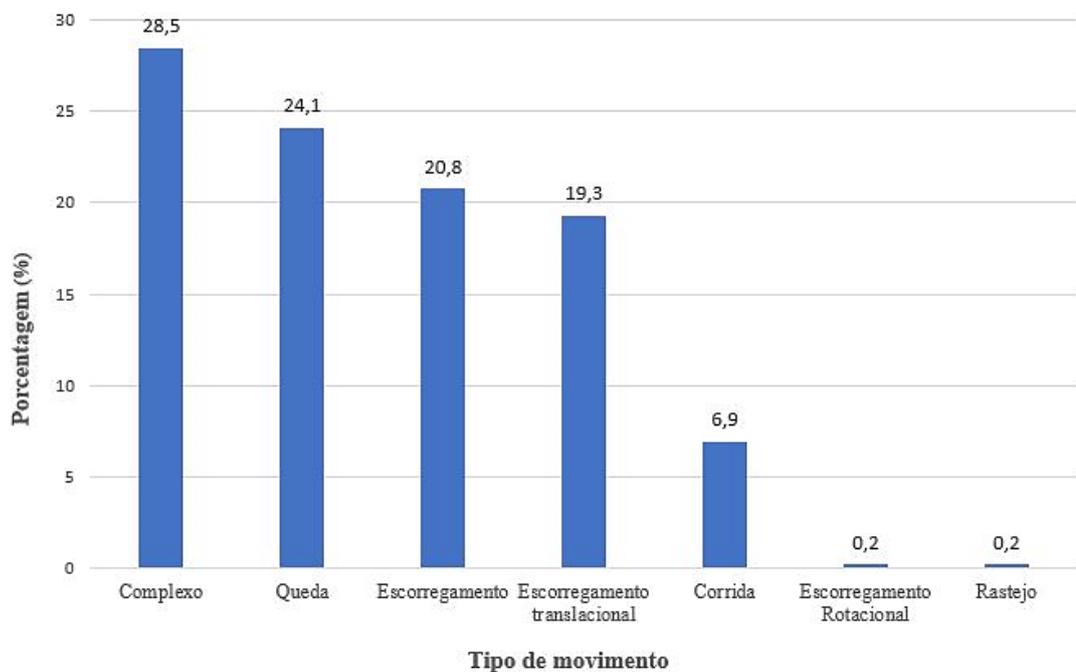
Ao todo, 114 casos de escorregamentos translacionais foram registrados no banco de dados, movimento que ocorre sobre uma superfície planar, como, por exemplo, nos contatos litológicos. É o tipo de escorregamento mais comum no município, devido ao solo pouco espesso na região e às condições de discontinuidades presentes no contexto geológico. Esse fato também explica a ocorrência de apenas 1 registro de escorregamento rotacional, uma vez que esse tipo de movimento se

desenvolve preferencialmente em materiais homogêneos, como solos profundos, o que é raro na cidade de Ouro Preto.

Além desses, 41 casos de corrida de massa foram registrados. Tais eventos são classificados como movimento de grande energia e poder destrutivo, potencializado por ocorrer próximo as drenagens que mobilizam ainda mais material. Diante do entendimento de que a cidade não tem as características necessárias para acontecer movimentos do tipo corridas (fluxos), discute-se a incerteza deste número, considerado muito alto.

Por fim, há apenas um caso de rastejo no arquivo, fato que pode ser explicado pelo solo pouco espesso da região e porque esse tipo de movimento ser de difícil identificação, uma vez que ocorre de forma gradual e não tende a gerar prejuízos materiais imediatos.

Na Figura 7.1 observa-se a frequência dos tipos de movimento, o que permite uma visualização mais clara dos eventos mais ou menos recorrentes.

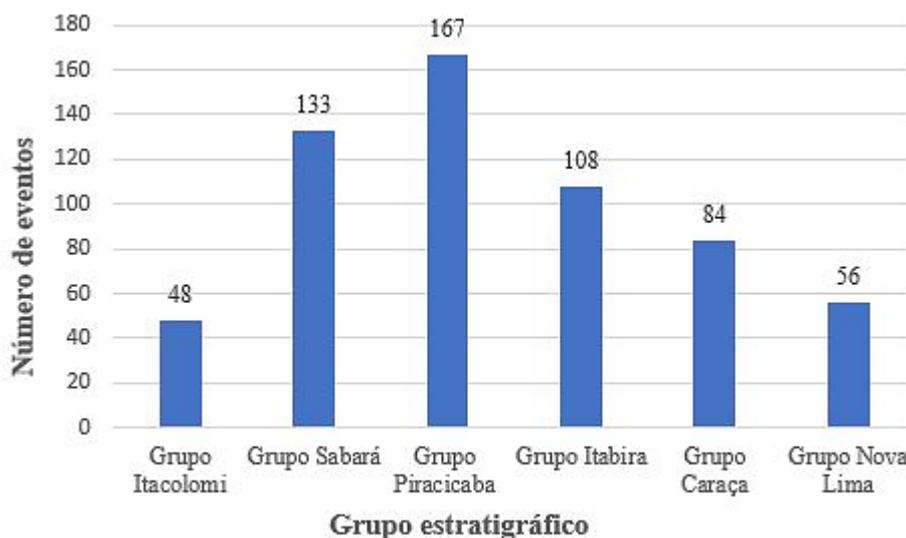


**Figura 7.1** - Frequência das ocorrências quanto ao tipo de movimento.

### 7.1.2 Banco de dados x Mapa Litológico

A partir das coordenadas geográficas de cada cadastro do banco de dados foi possível sobrepor esses dados ao mapa geológico da CODEMIG (2017), folhas Ouro Preto e Mariana. A Figura 7.2 apresenta a distribuição dos pontos cadastrados no banco de dados conforme os grupos estratigráficos e o mapa resultante da sobreposição encontra-se no Apêndice I deste trabalho.

O Supergrupo Rio das Velhas, representado pelas rochas do Grupo Nova Lima, principalmente xistos com grande variabilidade composicional, está envolvido em 56 movimentos de massa contidos no inventário, sendo 29 classificados como movimentos complexos, caracterizados pela ocorrência de dois ou mais movimentos em uma mesma encosta.



**Figura 7.2** - Frequência de movimentos de massa de acordo com a estratigrafia do Quadrilátero Ferrífero.

O Supergrupo Minas, por sua vez, apresenta o maior número de ocorrências, 492 de um total de 596, correspondentes a aproximadamente 83% do espaço amostral. A distribuição dentro do Supergrupo Minas é descrita a seguir:

O Grupo Caraça, representado por quartzitos com foliação bem definida, filitos, quartzo sericita xistos e conglomerados, compreende 84 movimentos, e, dentre eles, destaca-se a ocorrência de 23 quedas. Em seguida, o Grupo Itabira, das Formações Cauê e Gandarela, é responsável pelo total de 108 ocorrências, sendo 24 movimentos complexos e 26 quedas.

O Grupo Piracicaba, que abrange filitos, quartzitos, dolomitos e formações ferríferas, apresenta-se como o mais problemático dos analisados, com um total de 167 eventos. Desse total, 117 ocorreram na Formação Cercadinho, na qual os deslizamentos representam 36 registros e os deslizamentos translacionais representam 21 movimentos, 39 na Formação Fecho de Funil, dentre eles 11 deslizamentos e 12 deslizamentos translacionais e apenas 11 na Formação Barreiro, dos quais 4 referem-se a deslizamentos translacionais. O Grupo Sabará, sequência metavulcanossedimentar constituída de xistos, quartzitos, formação ferrífera e mataconglomerados, também apresenta um número significativo de acidentes geotécnicos (133), sendo expressivo o número de deslizamentos (32) e deslizamentos translacionais (33).

De acordo com Oliveira (2010), parte das regiões mais afetadas por movimentos gravitacionais de massa está em áreas onde as rochas do Supergrupo Minas afloram. Na Serra de Ouro Preto, ao norte do município, ocorrem as formações Moeda, Batatal e Cauê, sobrepostas aos xistos do Grupo Nova Lima. Essa região corresponde à área dos bairros São Cristóvão e São Francisco, dois bairros com altos índices de movimentos gravitacionais. Já o Centro, área de maior interesse no que concerne ao patrimônio histórico do município, está inserido predominantemente em litologias da Formação Cercadinho. Já os bairros na região nordeste da cidade, correspondentes a grande parte da expansão territorial presenciada nas últimas décadas, como Taquaral, Piedade e Morro Santana, foram assentados sobre rochas dos Grupos Nova Lima, Caraça e Itabira.

Por fim, fechando a sequência estratigráfica, o Grupo Itacolomi, representado por quartzitos com conglomerados polimíticos, é o grupo com menor número de eventos envolvidos e quase a totalidade se refere a movimentos de queda, sendo 47 movimentos dessa natureza do total de 48 incidentes registrados.

### 7.1.3 Distribuição espacial dos movimentos de massa em Ouro Preto

Uma análise de fundamental importância diz respeito à concentração dos movimentos gravitacionais de massa conforme sua distribuição espacial no município, a qual permite definir quais bairros com a maior incidência de eventos geotécnicos. A Tabela 7.2 apresenta a distribuição completa dos 695 eventos analisados de acordo com o bairro em que ocorreram, e, no Apêndice II, encontra-se o mapa que ilustra tal análise.

**Tabela 7.2** – Distribuição de movimentos de massa nos bairros de Ouro Preto/MG.

<b>Bairros</b>	<b>Número de cadastros</b>	<b>Bairros</b>	<b>Número de cadastros</b>
<b>Água Limpa</b>	15	<b>Passa Dez de Baixo</b>	5
<b>Alto da Cruz</b>	12	<b>Passa Dez de Cima</b>	5
<b>Antônio Dias</b>	9	<b>Piedade</b>	16
<b>Bairro da Lagoa</b>	8	<b>Pilar</b>	6
<b>Barra</b>	4	<b>Pocinho</b>	7
<b>Cabeças</b>	6	<b>Rosário</b>	7
<b>Centro</b>	27	<b>Santa Cruz</b>	39
<b>Dores</b>	12	<b>São Cristóvão</b>	27
<b>Jardim Alvorada</b>	8	<b>São Francisco</b>	24
<b>Lagoa</b>	15	<b>Saramenha</b>	12
<b>Morro da Queimada</b>	24	<b>Saramenha de Cima</b>	4
<b>Morro Santana</b>	22	<b>Taquaral</b>	34
<b>Morro São João</b>	8	<b>Vila Aparecida</b>	8

<b>Morro São Sebastião</b>	24	<b>Vila dos Engenheiros</b>	3
<b>Nossa Senhora de Lourdes</b>	5	<b>Vila Itacolomy</b>	7
<b>Nossa Senhora do Carmo</b>	5	<b>Vila Pereira</b>	1
<b>Novo Horizonte</b>	7	<b>Vila São José</b>	3
<b>Padre Faria</b>	19	<b>Vitorino Dias</b>	14

O bairro Taquaral, com 34 ocorrências, e o bairro Lagoa, com 15 ocorrências, não estavam dentro da área estudada por Carvalho (1982). Dessa informação, pode-se concluir que esses bairros se desenvolveram após a publicação da carta, e em áreas com alta suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. Dessa forma, caso o crescimento urbano da cidade fosse planejado de forma a evitar desastres geotécnicos, tais áreas deveriam ter sido evitadas para a construção de moradias, ou precisariam de obras geotécnicas que tornassem viável sua ocupação.

O bairro Santa Cruz, com o maior número de ocorrências registradas, apresenta 12 dos 39 eventos sobre a área de suscetibilidade elevada segundo a classificação de Carvalho (82). Segundo Oliveira (2010), esse bairro, que antes de 1986 apresentava crescimento inexpressível, se tornou uma das frentes de maior expansão na cidade entre os anos de 1986 a 2004. Já no Centro, com apenas 9 das 27 ocorrências, está sobreposta à zona que Carvalho considerou como a mais suscetível a acidentes geológicos, estando os outros pontos dispersos entre a Classe I (5 dos 27) e Classe II (13 dos 27).

De acordo com Oliveira (2010), dentre os anos de 1978 e 1986 (época que compreende a publicação da Carta Geotécnica de Carvalho), Ouro Preto sofreu um rápido crescimento urbano, correspondente a 48,7% da área ocupada em 1978. Essa expansão ocorreu principalmente na região nordeste da cidade, ao longo de feições da Serra de Ouro Preto, principalmente nos bairros Morro Santana, Morro São João, Morro da Queimada, Piedade e Taquaral. Esses mesmos bairros figuram nos resultados aqui apresentados como alguns dos bairros mais problemáticos em termos geotécnicos devido ao número significativo de ocorrências de movimentos gravitacionais de massa. Além disso, a região corresponde às áreas onde as atividades antigas de mineração foram intensas e alteraram as formas originais das vertentes.

Ainda segundo o autor, entre os anos de 1986 a 2004, a mancha urbana de Ouro Preto se desenvolveu para bairros às margens da MG-356, como Novo Horizonte, Nossa Senhora do Carmo e Lagoa. Isso explica o porquê desses bairros não constarem no zoneamento criado por Carvalho em 1982 e, no entanto, apresentarem ocorrências nos registros de movimentos gravitacionais de massa.

## 7.2 BANCO DE DADOS X CARTA GEOTÉCNICA DE CARVALHO (1982)

A sobreposição dos pontos correspondentes a movimentos gravitacionais de massa na área urbana de Ouro Preto, proveniente do banco de dados, foi feita sobre a Carta Geotécnica de Carvalho (1982). Analisou-se um total de 695 pontos, registrados posteriormente à publicação desta carta. No Apêndice III, encontra-se o mapa Banco de Dados *versus* Carta Geotécnica de Ouro Preto.

Dentre os 695 pontos analisados no trabalho, 331 estão sobrepostos à área que corresponde ao zoneamento geotécnico proposto pelo autor, valor que corresponde a 48% dos movimentos gravitacionais de massa registrados no banco de dados. No entanto, os outros 52%, referentes a 365 pontos, localizam-se fora do zoneamento geotécnico publicado por Carvalho (1982)

Dentre os pontos analisados correspondentes a eventos compreendidos dentro da área do zoneamento proposto pelo autor, 42 eventos, equivalentes a 13% do total, estão sobrepostos à área cuja classificação é dada por Classe I. Segundo Carvalho (1982), essa área corresponde a um risco nulo ou desprezível e recomenda-se, em caso de obras de construção civil, adotar um procedimento rotineiro equivalente ao das construções no entorno, no que diz respeito a cuidados geotécnicos.

No entanto, a área ocupada pela classe 1 abrange 2,29 km<sup>2</sup>, correspondente a apenas 23% do zoneamento gerado em 1982. Com isso, a razão entre o número de eventos e a área mapeada resulta em 18,34 eventos por km<sup>2</sup>, um número elevado dado a classificação do autor de suscetibilidade nula a desprezível.

Em sequência, 145 pontos, que correspondem a 44% do total, foram identificados sobre a área compreendida pela Classe II, zona de suscetibilidade moderado para Carvalho (1982). Nesta área, recomenda-se, em caso de construções, que um especialista seja consultado a fim de minimizar os riscos.

Essa foi a zona com a maior concentração de movimentos gravitacionais de massa e é, também, a maior em área: 4,46 km<sup>2</sup>, equivalente a 50% da área proposta pelo autor em sua carta e tais valores resultam numa média de 32,51 eventos por km<sup>2</sup>. No entanto, sendo uma classe de suscetibilidade média, a ocorrência de movimentos gravitacionais deveria ser menor de acordo com as conclusões do autor.

Por fim, sobre a Classe III, de suscetibilidade elevada, estão 144 pontos, referentes a 43 % do conjunto analisado. Segundo Carvalho (ano), nesta classe as construções não são indicadas, e as obras geotécnicas para estabilizar podem ser muito onerosas e inviáveis.

A Classe III ocupa uma área de 3,11 km<sup>2</sup> dentro do zoneamento, correspondente a 29% do total, correspondendo a uma média de 46 eventos por km<sup>2</sup>, a maior média dentre as classes propostas

pelo autor. Dessa forma, uma quantidade expressiva de movimentos gravitacionais foi registrada na área, coerente com a classificação do autor da área como suscetibilidade elevada.

Calculando um índice de densidade de movimentos de massa para cada classe em relação à área total (% de movimentos na classe / % de área da classe) tem-se os seguintes valores: 0,57, 0,97 e 1,34, para a Classe I, Classe II e Classe III, respectivamente. Isso significa que a Classe III apresenta a maior quantidade de movimentos por classe em relação à área total, corroborando com o que já foi avaliado anteriormente, sendo essa região de suscetibilidade elevada.

Em termos do zoneamento, 38 % dos eventos geotécnicos que ocorreram na zona de suscetibilidade nula a desprezível, de acordo com a classificação de Carvalho (1982), correspondem a escorregamentos. Por sua vez, na zona 2, de suscetibilidade moderada, 34 % dos movimentos gravitacionais de massa registrados são escorregamentos, e 19 % correspondem a escorregamentos translacionais. Por fim, na classe 3, cuja suscetibilidade é classificada como elevada, o movimento com maior frequência é o escorregamento translacional, correspondente a 26 %.

### **7.3 BANCO DE DADOS X CARTA GEOTÉCNICA DE FONTES (2011)**

Para avaliar o índice de acertos da Carta de Suscetibilidade publicada por Fontes (2011), foram analisados os pontos do banco de dados referentes às datas posteriores à sua publicação. Dessa forma, 21 pontos foram sobrepostos ao mapa, sendo que todos eles estão dentro do zoneamento proposto, e o resultado pode ser visto no Apêndice IV. Isso se deve ao fato de que, na época de sua publicação, a cidade possuía conformação semelhante à atual.

Do total de pontos analisados, apenas 1 (referente a 5% do total analisado) sobrepõe-se à área da Classe I, que segundo a classificação do autor, possui baixa suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa. São encostas de forma convexa, côncava ou retilínea, com baixa declividade (de 0 a 20 %) e em filito e quartzito e com solos provenientes dessas rochas. Ainda de acordo com o autor, essa zona abrange 3,46 km<sup>2</sup> do município, resultando no valor de 0,28 eventos por km<sup>2</sup>.

A segunda classe, referente às zonas de suscetibilidade média, compreende 6 pontos do conjunto, correspondentes a 28 % do total de eventos geotécnicos analisados. Refere-se a encostas de forma convexa ou côncava, com declividades de 20 a 40 % e ocorrem sobre areias siltosas e argilosas (provenientes da piogênese de xistos) e argilas arenosas (originadas a partir de itabiritos). De acordo com o zoneamento proposto, 8,05 km<sup>2</sup> da área do município está nessa zona, e corresponde a um total de 0,75 acidentes geotécnicos por km<sup>2</sup>.

Em sequência, a terceira classe possuiu a maior expressão, e compreende 8 dos 21 pontos, equivalentes a 38% do total. O autor classifica a região como de suscetibilidade alta e possui maior

abrangência (10,53 km<sup>2</sup>), chegando ao valor de 0,76 eventos por km<sup>2</sup>. Essas áreas correspondem a encostas convexas ou côncavas, com declividades de 40 a 60%, onde ocorrem em areias silto-argilosas ou areias argilosas, provenientes de dolomitos.

Por fim, a última classe corresponde às suscetibilidades muito altas, e correspondem a 6 pontos, referentes a 29% do total. Ocorrem em encostas côncavas, com declividades de 60 a 100 %, ou maiores que 100 % e sobre areias siltosas ou areias argilo-siltosas, provenientes de quartzitos ferruginosos e filitos prateados. Segundo o autor, essa zona de suscetibilidade ocorre em 4,45 km<sup>2</sup> do município de Ouro Preto, resultando na média de 1,35 eventos por km<sup>2</sup>, a maior dentre as 4 classes propostas pelo autor.

Calculando um índice de densidade de movimentos de massa para cada classe em relação à área total (% de movimentos na classe / % de área da classe) tem-se os seguintes valores: 0,38, 0,93, 0,95 e 1,7, para a Classe I, Classe II, Classe III e Classe IV, respectivamente. Isso significa que a Classe IV apresenta a maior quantidade de movimentos por classe em relação à área total, corroborando com o que já foi avaliado anteriormente, sendo essa região de suscetibilidade muito alta.



## CAPÍTULO 8

### CONCLUSÕES

---

De acordo com os resultados obtidos pela sobreposição do inventário de movimentos gravitacionais aos mapas de suscetibilidade criado por Carvalho (1982) e por Fontes (2011), bem como ao mapa de bairros do município de Ouro Preto e ao Mapa Geológico da região, foi possível concluir que:

- a) A partir da análise do banco de dados, nota-se uma heterogeneidade nas informações apresentadas, uma vez que parte dos pontos apresentava insuficiência de dados. Além disso, a classificação dos movimentos aparenta conter alguns erros, como o elevado número de ocorrências relacionadas a corridas, tipo de movimento pouco provável de suceder em Ouro Preto dadas às características da cidade. Ainda assim, dentre as ocorrências avaliadas, destaca-se o elevado número de movimentos complexos, quedas e escorregamentos translacionais.
- b) A análise litológica expressa uma concentração de eventos no Supergrupo Minas, sendo 84% dos eventos analisados sobrepostos a rochas desse Supergrupo. Os grupos mais afetados são o Caraça; Itabira; Piracicaba, sobretudo na Formação Cercadinho, e, por fim, o Grupo Sabará. Nos grupos Caraça e Itabira, destaca-se a ocorrência de quedas, enquanto nos grupos Piracicaba e Sabará os escorregamentos indiferenciados e escorregamentos translacionais são mais frequentes. O grupo Itacolomi destaca-se por praticamente a totalidade das ocorrências ser dadas por movimentos gravitacionais de queda.
- c) A expansão territorial da cidade ocorreu em algumas áreas já propensas à ocorrência de movimentos de massa, principalmente nas encostas da Serra de Ouro Preto, onde afloram rochas das Formações Moeda, Batatal e Cauê, que possuem elevado número de movimentos gravitacionais. Bairros como Morro Santana, Morro São João, Morro da Queimada, Piedade e Taquaral são algumas das regiões mais suscetíveis à ocorrência de movimentos de massa no município. Dessa forma, entende-se que o crescimento da cidade se deu em regiões de média ou alta suscetibilidade a movimentos de massa e, essa ocupação desordenada, ocorrida após a publicação da carta elaborada por Carvalho (1982), pode ter sido a responsável por modificar a dinâmica das encostas, adicionando à suscetibilidade natural os fatores antrópicos que contribuem para que essas regiões sejam as de maior risco à população e seus equipamentos construtivos.
- d) A ocorrência dos movimentos gravitacionais de massa também é condicionada pela qualidade da ocupação. A região ocupada pelo Centro, por exemplo, localiza-se numa área suscetível à

ocorrência de acidentes geotécnicos, mas, devido à qualidade das construções, possui um registro de ocorrências menor que o de outros bairros.

- e) De acordo com os índices de densidade de movimentos de massa calculados para as Cartas de Suscetibilidade de Carvalho (1982) e Fontes (2011), os resultados corroboram a proposta dos autores, uma vez que indicam uma menor concentração de movimentos de massa nas áreas consideradas como de menor suscetibilidade e maiores índices nas suscetibilidades mais elevadas.
- f) A região considerada por Carvalho (1982) como de suscetibilidade “nula ou desprezível” compreende a menor área dentre as mapeadas (apenas 21% do total mapeado) e também apresenta o menor número de eventos, o que é compatível com a classificação atribuída. No entanto ainda apresenta uma taxa de ocorrências maior do que a esperada para uma suscetibilidade classificada como “nula ou desprezível”. A região tida como de risco “moderado” é, na verdade, a com o número mais elevado de ocorrências. Ainda que ocupe uma área expressiva do mapa (50%), o número não é compatível à descrição dada pelo autor. Essas discrepâncias, nas duas áreas mencionadas, podem ser ocasionadas pela ocupação da cidade, que se tornou mais concentrada nos últimos 35 anos e pode ter sido responsável pela modificação da propensão de determinadas áreas à ocorrência de problemas geotécnicos.
- g) A zona de suscetibilidade elevada (Classe III) possui resultados coerentes com dados obtidos, uma vez que compreende 29% da área zoneada e 43% dos eventos registrados.
- h) Portanto, os resultados apontados por Carvalho (1982), que dizem respeito a essas regiões, ainda podem ser usados atualmente, por condizerem com as regiões suscetíveis a movimentos gravitacionais de massa.
- i) O pequeno espaço amostral (apenas 21 pontos) analisado em relação à Carta de Suscetibilidade proposta por Fontes (2011), devido ao fato de ser uma publicação recente, torna mais difícil a análise de sua validade. No entanto, dentre os pontos analisados, a carta apresenta uma coerência mais aproximada à realidade atual, apresentando apenas 1 evento geotécnico na zona de suscetibilidade baixa e 8 e 6 movimentos gravitacionais nas zonas de suscetibilidade alta e muito alta, respectivamente. No entanto, sugere-se que essa análise continue sendo feita, uma vez que dados de movimentos futuros podem testar se a representatividade do zoneamento do autor é efetiva.

Dessa forma, conclui-se que devido às intensas modificações ocorridas em Ouro Preto nos últimos 35 anos, a utilização da Carta Geotécnica de Ouro Preto (1982) pode resultar em discrepâncias com a dinâmica dos movimentos gravitacionais de massa recorrentes no município.

## 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 Ferrífero. *Precambrian Research*, **90(1)**: 29-58.
- Amaral Jr. A.F. 2007. *Mapeamento geotécnico aplicado a análise de processos de movimentos de massa gravitacionais: Costa Verde – RJ – escala 1:10.000*. MS Dissertation. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 210 p.
- Antoine P., Giraud A. 1995. Typologie des mouvements de versants dans un contexte opérationnel. Bulletin of the International Association of Engineering Geology-Bulletin de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur, **51(1)**:57-62.
- Augusto Filho O. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. In: Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas, 1, 1992, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: ABMS/ABGE. 1992. p. 721-733
- Bonuccelli T., Zuquette L.V. 1999. Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. *Revista Portuguesa de Geotecnia*, **85**:59-80.
- Carvalho E.T. 1982. *Carta Geotécnica de Ouro Preto*. MS Dissertation. – Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 95 p.
- Castro J.M.G. 2006. *Pluviosidade e Movimentos de Massa nas Encostas de Ouro Preto*. MS Dissertation – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006, 138.
- Castro J.M.G., Sobreira F.G., Gomes R.C., Gomes G.J.C. 2012. Preposição de programa preventivo de riscos geológicos em Ouro Preto – BR com base em histórico de ocorrências e sua correlação com pluviosidade. *Revista Brasileira de Geociências*, **42(I)**:58-66.
- Cruden D.M, Lan H.X. 2015. Using the working classification of landslides to assess the danger from a natural slope. In: Lollino G. et al. (eds). *Engineering geology for society and territory: landslides processes*, 2, Berlin, Springer International., p. 3-12.
- Cruden D.M., Varnes D.J. 1996. Landslides Types and Processes, Special Report, *Transportation Research Board*, National Academy of Sciences , **247**:36-75.
- Dorr J. V. N. II. 1969. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. USGS/DNPM. *Professional Paper 641-A*. 110 p.
- Dourado F., Arraes T.C., Silva M.F. 2013. O Megadesastre da Região Serrana do Rio de Janeiro – As Causas do Evento, os Mecanismos dos Movimentos de Massa e a Distribuição Espacial dos Investimentos de Reconstrução no Pós-Desastre. *Anuário do Instituto de Geociências*, 2, p. 43-54.
- Fell R., Corominas J., Bonnard C, Cascini L., Leroi E., Savage W.Z. 2008. Guidelines for landslides susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. *Engineering Geology*, 102, Elsevier, p. 85-98.
- Fernandes N.F., Amaral C.P. 1996. Movimentos de massa: uma abordagem geológicogeomorfológica. In: Guerra A.J.T. e Cunha S.B. (org) *Geomorfologia e Meio Ambiente*. Bertrand, Rio de Janeiro. p. 123-194.

Fontes M.M.M. 2011. *Contribuição para o desenvolvimento da metodologia de análise, gestão e controle de riscos geotécnicos para a área urbana da cidade de Ouro Preto*. MS Dissertation. Núcleo de Geotecnia da Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 135 p.

Freire ES de M. Movimentos coletivos de solos e rochas e sua moderna sistemática. *Construção*, v. 8, n. 95, 1965.

Gomes, R.C. 1998. Condicionantes geotécnicos do espaço urbano de Ouro Preto/MG. *In: Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica*, Brasília. São Paulo: Associação Brasileira de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica, p. 363-370.

Guzzetti F., Mondini A.C., Cardinali M., Fiorucci F., Santangelo M., Chang K. 2012. Landslide inventory maps: new tools for an old problem. *Earth-Science Reviews*, 112, Elsevier p. 42-66.

Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. 2013. The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, **11** (2):167-194.

Hutchinson J. N. 1988. Morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrology. *In: Proceedings of the Fifth International Symposium on Landslides*, Lausanne: Balkema, p. 3-35.

IPT. 2014. *Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000*; nota técnica explicativa. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 42 p.

Lansheng W., Zhuoyuan Z., Mindong C., Jin X., Tianbin L., Xiaobi D. 1995. Suggestion on the systematical classification for slope deformation and failure. *Landslides*, Balkema, p. 1869-1877.

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. de, Ferreira, D.V. 2005. Projeto Geologia do Quadrilátero Ferrífero - Integração e Correção Cartográfica em SIG com Nota Explicativa. Belo Horizonte: CODEMIG, 1 CD-ROM.

Malamud, B.D., Turcotte D.L., Guzzetti F., Reichenbach P. 2004. Landslides inventories and their statistical properties. *Earth Surface Processes and Landforms*, **29**:687-711.

Nalini Júnior, H. A.; Rosièri, C. A.; Endo, I. 1992. Sobre a geologia estrutural do anticlinal de Mariana, região sudeste do Quadrilátero Ferrífero Minas Gerais: uma revisão. *REM - Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, **45**(1/2):18-20.

Nemcok A., Pasek J., Rybar J. 1972. Classification of landslides and other mass movements. *Rock Mechanics*, Springer-Verlag, p. 71-78.

Nola I.T.S. 2015. *Avaliação de dados geológico-geotécnicos prévios para elaboração de carta de eventos perigosos de movimentos de massa gravitacionais por meio de redes neurais artificiais e probabilidade*. MS Dissertation. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 249 p.

Oliveira L.D. 2010. *Ocupação Urbana de Ouro Preto de 1950 a 2004 e atuais tendências*. MS Dissertation. Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 137p.

Pinheiro A.L., Sobreira F.G., Lana M.S. 2004. Riscos geológicos na cidade histórica de Ouro Preto. *In: I Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, Florianópolis, p. 87-101.

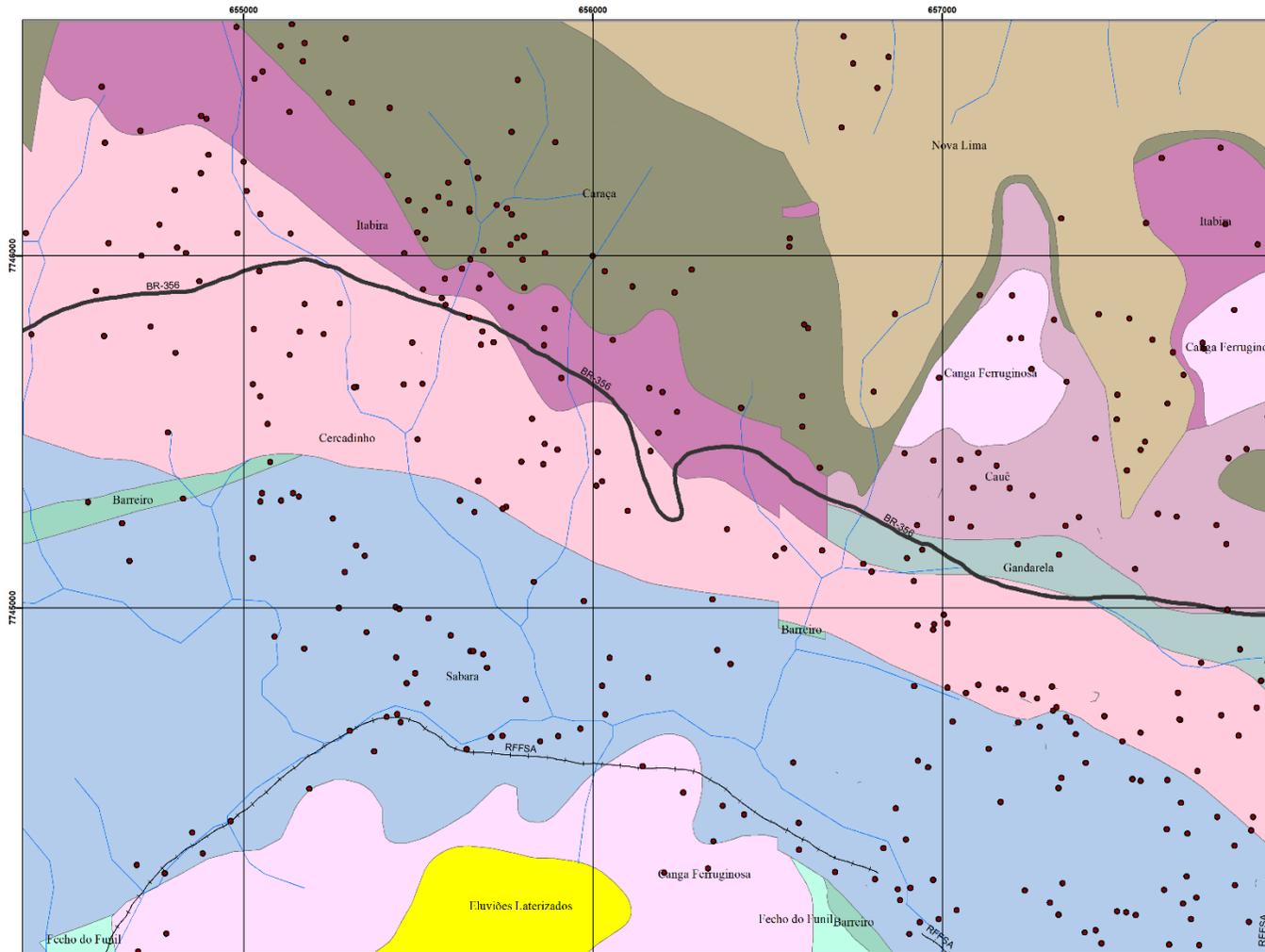
Prefeitura Municipal de Ouro Preto. 2018. Alerta Meteorológico. Disponível em: <<http://www.ouropreto.mg.gov.br/alerta-meteorologico>>. Acessado em 12 mar 2018.

- Sassa K. 1985. The geotechnical classification of landslides. *Proc of International Conference and Field Workshop on Landslides*, Tokyo, p. 31-40.
- Sharpe C.F.S. 1938. *Landslides and Related Phenomena*. Columbia University Press, New York, 137 p.
- Sobreira F.G., Fonseca M.A. 2001. Ação antrópica e processos em encostas em Ouro Preto, Brasil. *In: VII Simpósio Nacional de Controle de Erosão*, Goiânia, 11 p.
- Souza M.L. 1996. *Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto-MG (Escala 1:10.000) – susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos*. MS Dissertation. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 163 p.
- Terzaghi K. Landslides in Central America. *The Technology Review*, **31(1)**:12-16.
- USGS (United States Geological Survey). *Landslide Types and Processes*. Ficha informativa: 2004-3072, U.S. Department of the Interior, July 2004.
- Varnes D. J. 1984. *Landslide hazard zonation: review of principle and practice*. Paris, UNESCO, 63 p.
- Varnes D.J. 1978. Slope movement types and process. *Landslides – analysis and control*. *Transportation Research Board*, Special Report 176, p.11-13.
- Xavier M.O., Barella C.F., Corteletti R.C., Ferreira S.P., Souza T.S.A., Tavares V.L.S. 2017. Banco de Dados de Movimentos Gravitacionais de Massa do Distrito Sede da Cidade Histórica de Ouro Preto (MG) para uso em Trabalhos Estatísticos de Mapeamento. *In: VII Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas*, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 7 p.
- Záruba Q., Mencl V. 1969. *Landslides and their control*. New York, Elsevier/Prague, Academia, 205 p.



## Apêndice I

---



Base cartográfica  
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999

Mapa Geológico, Folhas  
Ouro Preto e Mariana, adquiridos  
de CODEMIG, 2017

Ouro Preto, 2018

ESCALA 1:10.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM HORIZONTAL: WGS1984  
ZONA 23S

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 45° W. Gr"  
acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.



UFOP  
Universidade Federal  
de Ouro Preto



ESCOLA DE MINAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

## Banco de Dados X Mapa Litológico

Autor: Emanuel Melo Franco Neves Costa  
Orientador: Prof. Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar  
Coorientadora: MSC Iraydes Tálita de Sena Nola

### Legenda

#### Litologia

Eluviões Laterizados

Canga Ferruginosa

Supergrupo Minas

Grupo Sabará

Grupo Piracicaba

Barreiro

Fecho do Funil

Cercadinho

Grupo Itabira

Itabira indiviso

Formação Gandarela

Formação Cauê

Grupo Caraca

Supergrupo Rio das Velhas

Grupo Nova Lima

#### Convenções Cartográficas

• Movimentos Gravitationais de Massa

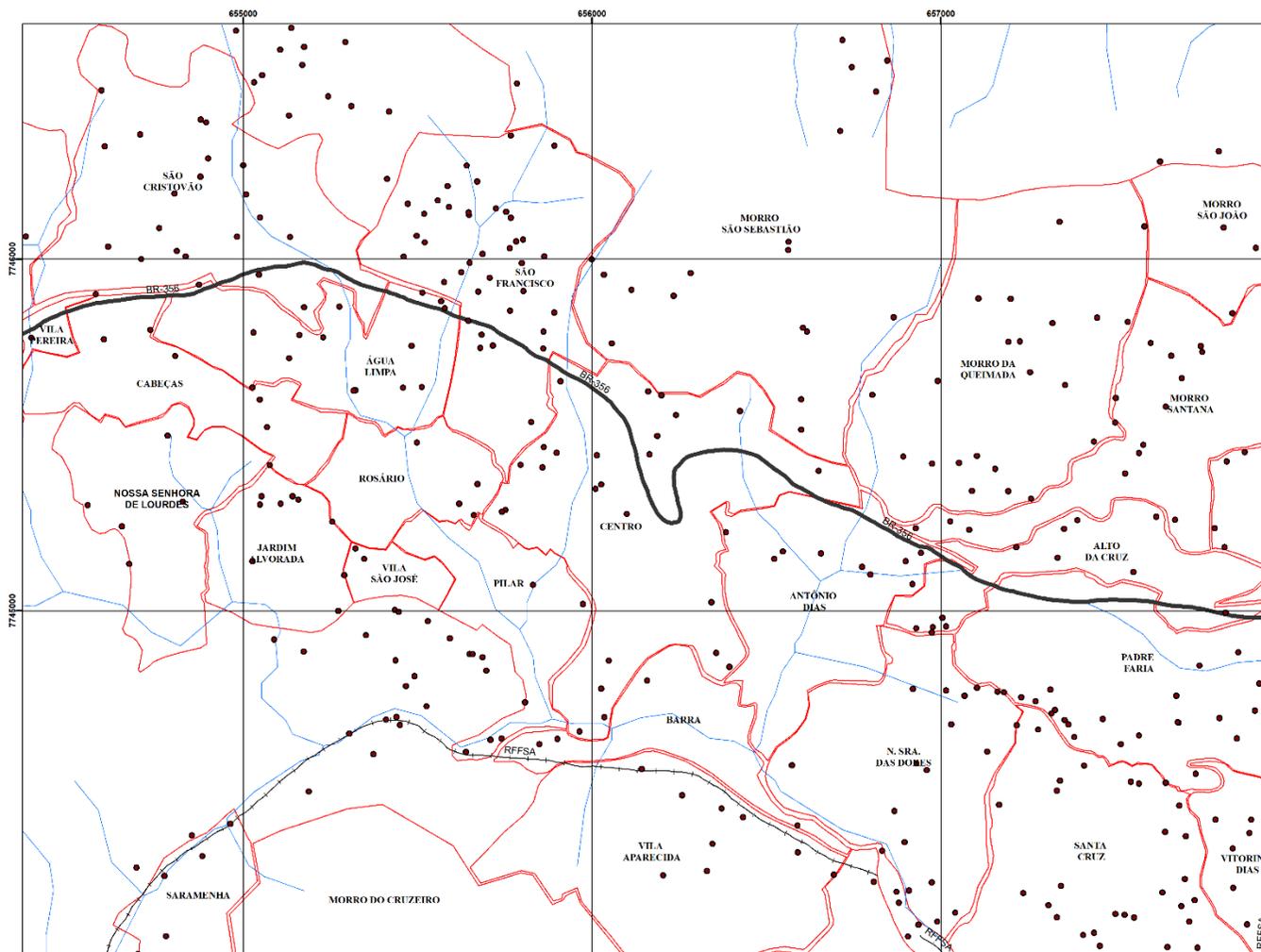
Drenagens

Ferrovia

BR-356

## Apêndice II

---



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
 ESCOLA DE MINAS  
 DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

## Distribuição espacial dos movimentos de massa em Ouro Preto

Autor: Emanuel Melo Franco Neves Costa  
 Orientador: Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar  
 Coorientadora: MSc Iraydes Tálita de Sena Nola

### Legenda

- Convenções Cartográficas**
- Movimentos Gravitacionais de Massa
  - Limite dos bairros
  - Drenagens
  - Ferrovia
  - BR-356



Base cartográfica  
 Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999  
 Limite dos Bairros do Município de  
 Ouro Preto adquirido de Fontes, 2011



Ouro Preto, 2018

ESCALA 1:10.000

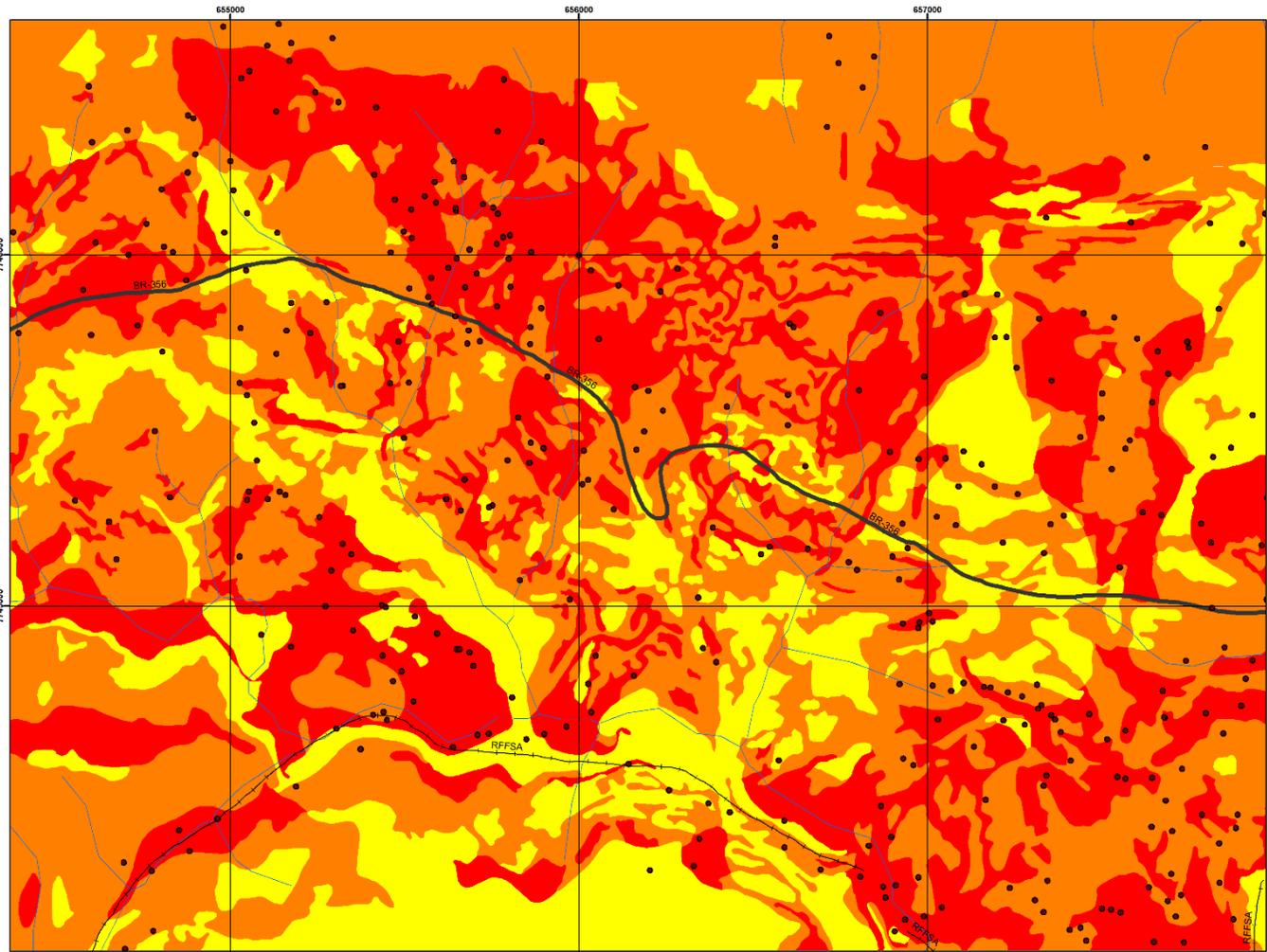


PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
 DATUM HORIZONTAL: WGS1984  
 ZONA 23S

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 45° W. Gr"  
 acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.

## Apêndice III

---

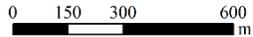


Base cartográfica  
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999

Carta Geotécnica de Ouro Preto  
elaborada por Carvalho (1982) e modificada  
pelo Professor Frederico Garcia Sobreira (UFOP).

Ouro Preto, 2018

ESCALA 1:10.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM HORIZONTAL: WGS1984  
ZONA 23S

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 45° W. Gr"  
acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.



UFOP  
Universidade Federal  
de Ouro Preto



ESCOLA DE MINAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

# Banco de Dados X Carta Geotécnica de Ouro Preto (Carvalho 1982)

Autor: Emanuel Melo Franco Neves Costa  
Orientador: Prof. Dr. Luís de Almeida Prado Bacellar  
Coorientadora: MSc Iraydes Tálita de Sena Nola

## Legenda

### Suscetibilidade

- Baixa
- Média
- Alta

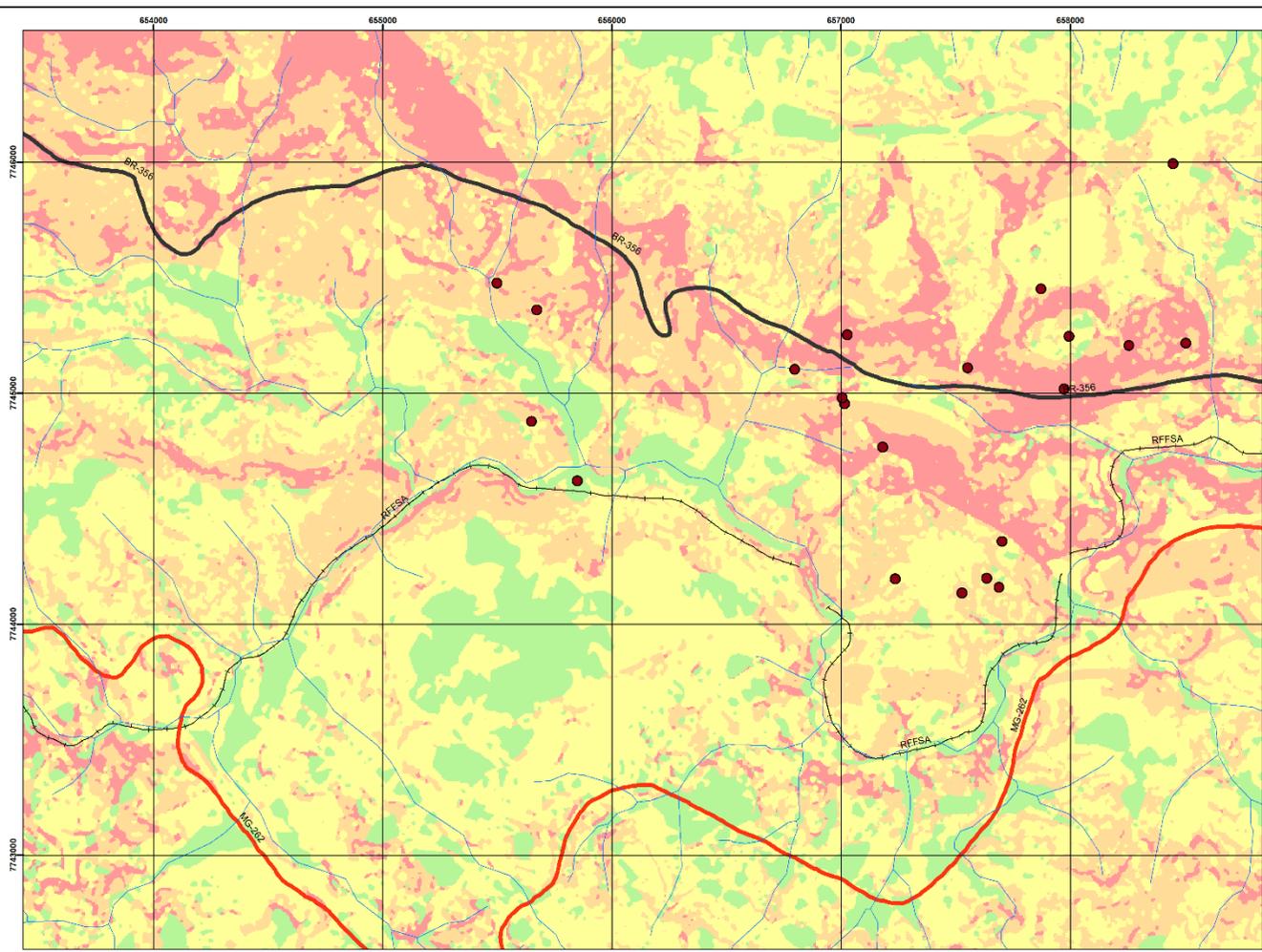
- Movimentos Gravitacionais de Massa

### Convenções Cartográficas

- Drenagens
- Ferrovia
- BR-356

## Apêndice IV

---



Base cartográfica  
Dados adquiridos de Bonuccelli, 1999

Mapa de Suscetibilidade a Escorregamentos  
para a cidade de Ouro Preto/MG elaborado  
por Fontes (2011).

Ouro Preto, 2018

ESCALA 1:15.000



PROJEÇÃO UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR  
DATUM HORIZONTAL: WGS1984  
ZONA 23S

Origem da quilometragem UTM: "Equador e Meridiano 45° W. Gr"  
acrescidas as constantes 10.000 km e 500 km, respectivamente.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
ESCOLA DE MINAS  
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA

## Banco de Dados X Carta de Suscetibilidade (Fontes 2011)

Autor: Emanuel Melo Franco Neves Costa  
Orientador: Prof. Dr. Luis de Almeida Prado Bacellar  
Coorientadora: MSc Iraydes Tálita de Sena Nola

### Legenda

#### Suscetibilidade

- Baixa
- Média
- Alta
- Muito alta

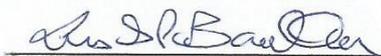
- Movimentos Gravitacionais de Massa

#### Convenções Cartográficas

- Drenagens
- Ferrovia
- BR-356
- MG-262

Declaro que o discente Emanuel Melo Franco Neves Costa fez as correções em seu TCC de acordo com as recomendações da banca de avaliação.

Ouro Preto, 7 de fevereiro de 2019.



Luis de A. P. Bacellar  
Orientador