

17º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental

LIMIARES GEOMORFOLÓGICOS DA DEFLAGRAÇÃO DE DESLIZAMENTOS NATURAIS NO MUNICÍPIO DE OURO PRETO - MG

Arthur Palhares¹; Fernando Oliveira²; Claudio Lana³; Italo Menezes⁴

Resumo – O município de Ouro Preto historicamente tem sido assolado por processos de deslizamento de encostas. Tais eventos impactam diretamente no cotidiano da população de maneira negativa todos os anos, envolvendo perdas materiais e vidas humanas. O presente estudo teve como objetivo entender mais a fundo quais são e como atuam os principais limiares geomorfológicos que deflagram os movimentos de massa no município. Através da análise da evolução histórica das cicatrizes de deslizamento por imagens, o estudo do comportamento das encostas, morfologia, padrões litológicos, declividade, amplitude, cobertura vegetal, dentre diversos outros fatores. Desta forma foi possível aprimorar o entendimento relacionado ao tema. Por fim foi possível gerar um banco de dados representativo da região, a partir dos eventos analisados, com o intuito de fornecê-lo à CPRM, para que em projetos futuros, seja possível determinar áreas com maior probabilidade de ocorrência de novos deslizamentos, baseando nas condições avaliadas e aumento a previsibilidade.

Abstract – The municipality of Ouro Preto has been historically devastated by hillsides sliding. These events have a negative impact in the daily life of the population, as they involve material losts and human lives. This study has the aim of a deeper understanding about which and how the geomorphological thresholds act as a start to mass movements at the municipality. Through analyses of historical evolution of hillsides scars, behavior, morphology, lithological patterns, slope, extent, vegetal covering, and other factors, it was possible to improve the understanding about the topic. Lastly, it was possible to create a database of the zone, providing it to CPRM, so that in future projects it can be helpful to determine areas with more probability of having hillsides sliding, based on evaluated conditions and increased predictability.

Palavras-Chave – Instabilidade de encosta; Limiares Geomorfológicos; Deslizamentos; Cicatrizes; Pluviosidade.

¹ Estudante de Eng. Geológica, Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto – MG, (31) 99719-4528, Arthur.palhares@aluno.ufop.edu.br,

² Estudante de Eng. Geológica, Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto – MG, (31) 98560-5889, Fernando.antonio1@aluno.ufop.edu.br,

³ Eng. Geól., MSc., DSc., Universidade Federal de Ouro Preto: Ouro Preto - MG, (31) 98561-8390, claudiolana@ufop.edu.br

⁴ Eng. Geól., MSc., Serviço Geológico do Brasil – CPRM, (31)3878-0313, italo.menezes@cprm.gov.br

1. INTRODUÇÃO

Ao longo de sua história, o município de Ouro Preto está sujeito a ocorrência de movimentos de massa, principalmente em períodos chuvosos, pois os deslizamentos se intensificam. Devido à falta de planejamento urbano, várias áreas de risco, como as encostas, estão ocupadas e muitas vezes foram alteradas pelas atividades de mineração do passado, além de possuírem características naturais que influenciam na ocorrência dos movimentos de massa, fato esse que pode desencadear danos materiais e humanos.

Além dos fatores históricos, as condições climáticas, geológicas e geomorfológicas de Ouro Preto contribuem para ocorrência de processos erosivos e movimentos de massa. O relevo da área urbana da cidade derivada da erosão diferencial, sendo formado por vales profundos e encaixados com encostas que possuem amplitudes e declividades variadas, a norte o município é limitado pela Serra de Ouro Preto e a sul pela Serra do Itacolomi (Sobreira,2004).

A Serra de Ouro Preto corresponde ao flanco sul da Anticlinal de Mariana, estrutura regional orientada na direção leste oeste, onde o acamamento e a foliação apresentam atitudes próximas (Sobreira & Fonseca, 2001). Segundo (Harder e Chamberlin, 1915), as principais litologias do município consistem em quartzitos e itabiritos, em cotas superiores, nos xistos e filitos que estão em altitudes médias e as suítes granito-gnaissica se encontram nas cotas mais baixas, fora dos limites da sede do município.

O clima da cidade é marcado pela alta pluviosidade que se concentra nos meses de outubro a março, com regime pluviométrico do tipo tropical, com características básicas do clima tropical de montanha (Gomes *et al.*, 1998), cuja a baixa latitude é compensada pela orografia regional (Carvalho ,1982).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Determinar os Limiares geomorfológicos e ambientais que condicionam a deflagração dos movimentos de massa no município de Ouro Preto. A fim de disponibilizar uma planilha à CPRM com os dados sintetizados sobre as encostas que abrigam as cicatrizes de deslizamento, aumentando assim o grau de previsibilidade dos movimentos de massas, principalmente em função da declividade e amplitude das vertentes.

Objetivos específicos

-Identificar as cicatrizes de deslizamento contidas em um polígono com raio de 5km a partir da Praça Tiradentes;

- Usar a proposta de (Sentini & Florenzano, 2004) para caracterizar e classificar as cicatrizes;
- Definir a amplitude e declividade das encostas que abrigam as cicatrizes a partir de Modelo Digital de Elevação (*MDE*) fornecido pela CPRM;
- Verificar as estruturas geológicas e a litologia das encostas que contém cicatrizes que influenciam nos movimentos de massa;
- Identificar se a área de cada cicatriz é composta por solo ou rocha;
- Identificar os padrões vegetais das encostas que possuem cicatrizes;
- Fornecimento da planilha com os dados sintetizados à CPRM.

3. METODOLOGIA

Nesse estudo o *software Arcgis 10.3* foi usado para definir um *buffer* de 5 km a partir da Praça Tiradentes, sobre a imagem *online* da região de Ouro Preto disponibilizada pelo mesmo *software*, através de imagens de satélite e imagens áreas em *High Resolution* de 30cm. Foi criada uma *shapefile* de círculo com intuito de delimitar a área analisada, analogamente, foi recortado um polígono sobre uma imagem de radar referente ao local de trabalho, em um Modelo Digital de Elevação (*MDE*) disponibilizado pela CPRM com resolução espacial de 2,5m, obtidas através da empresa BRADAR.

As cicatrizes foram identificadas visualmente empregando o *Google Earth*, analisando a série de imagens históricas próximas aos meses de novembro e março, pois de acordo com (Castro 2006) as estações chuvosas favorecem a ocorrência de deslizamentos. Para encontrar feições de deslizamento nas encostas, foram usados os critérios de (Sestini & Florenzano, 2004), nos quais são consideradas a geometria das cicatrizes, a densidade de vegetação entre a feição e a área ao seu entorno e a textura gerada pelos deslizamentos que expõem rochas, solos e sedimentos. Ainda segundo (Sestini & Florenzano, 2004) os parâmetros citados devem ser analisados através das imagens temporais, pois isso leva a maior precisão. As cicatrizes encontradas foram registradas com os marcadores do *Google Earth*, o arquivo foi salvo no formato *.KML* e convertido para *shapefile*, visto que este é o formato compatível com o *Arcgis 10.3*.

A declividade e amplitude das encostas foram extraídas em ambiente *SIG*, utilizado o Modelo Digital de Elevação- *MDE*-, de acordo com os procedimentos sugeridos por (Florenzano, 2008). Para adquirir o valor da declividade foi utilizada a função *slope* disponível no *Arcgis 10.3*, já a amplitude foi obtida de acordo com a diferença de cotas entre base e topo das encostas. Além disso, também foram captados valores automáticos da declividade, utilizando a função *Extraction Values* do *Arcgis 10.3*, na qual a base para o cálculo é o ponto gerado pelo marcador do *Google Earth*. A partir do mapa geológico na escala 1:150.000 (Endo *et al*, 2019) foram compiladas informações sobre a coluna estratigráfica, litologia e estruturas das encostas que contém as cicatrizes.

De acordo com as informações obtidas foi gerada uma planilha *online*, onde as linhas representam 100 cicatrizes. Para compor a tabela, foram escolhidas as cicatrizes registradas nas imagens com melhor resolução, porque segundo (Menezes & Almeida, 2012) as imagens com menor incidência de sombras permitem maior acurácia em suas análises. As colunas da planilha indicam as seguintes informações referentes a cada cicatriz: valores da declividade manual e automática; da amplitude; o tipo de movimento de massa, caracterizado de acordo com geometria da cicatriz segundo os critérios de (Pedrosa, 2013); a posição estratigráfica; a litologia; as estruturas geológicas; a ocorrência da cicatriz sobre solo ou rocha, interpretada em função da vegetação, sendo que locais com cobertura pedológica favorecem o aumento do porte da vegetação, em relação a áreas de afloramentos (Grotzinger & Jordan, 2013); dentre outras observações.

De posse dos dados foi calculada a declividade média manual e automática, bem como a amplitude média, ambas foram calculadas em relação a cada litologia, com o objetivo de observar a influência dessa variável nos processos de deslizamento. Também foram gerados gráficos relacionando os seguintes parâmetros das encostas: amplitude, declividade manual, declividade automática, porcentagem de cicatrizes ocorridas sobre solo ou rocha, porcentagem do tipo vegetação ao redor ou sobre a cicatriz e porcentagem das litologias sob as cicatrizes. Por último, foi calculado o desvio padrão entre a declividade manual e automática.

Em ambiente *SIG*, através do Modelo Digital de Elevação (*MDE*), foi gerado um mapa hipsométrico, um mapa de declividade baseado na função *slope*, bem como um mapa que representa a área de estudo, este foi obtido pela imagem *online* do *Arcgis 10.3*, onde também é representado o *buffer* e os marcadores referentes as cicatrizes

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises das cicatrizes de deslizamento feitas através das imagens históricas, disponibilizadas pelo *Google Earth*, juntamente com o reconhecimento das morfologias típicas, possibilitou a amostragem de cerca de 100 feições na região de estudo, de maneira representativa, visando o entendimento dos limiares para deflagração dos movimentos de massa. Foi possível observar, através desse mecanismo, a correlação entre a pluviosidade e tais eventos. A pluviosidade é considerada um agente efetivo em tais deflagrações, ou seja, é responsável por ser um dos principais gatilhos para ocorrência de deslizamentos. Segundo (CASTRO, 2006) 22mm de chuva acumulada ao longo de 5 dias, em média, é o suficiente para desencadear deslizamentos em Ouro Preto, fato que pode ser analisado na comparação das figuras 1 e 2 a seguir.

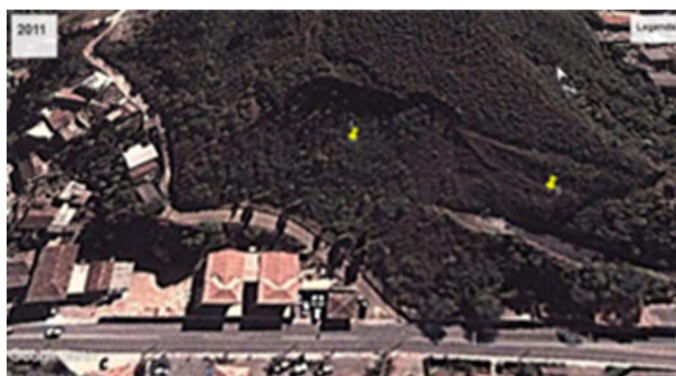


Figura 1: Alfinetes representando a localização de cicatrizes de deslizamento em período anterior ao chuvoso.



Figura 2: Cicatrizes de deslizamento em período posterior ao chuvoso.

Na porção leste de ambas as figuras, quando comparadas, é possível observar a ocorrência do agravamento de deslizamento no alfinete da direita, apesar das imagens se encontrem em um espaçamento relativamente grande de tempo, a figura 1 representa o momento anterior ao período chuvoso ocorrido em janeiro de 2012, na rua Padre Rolim, bairro Veloso, Ouro Preto, já a figura 2 representa o momento após tal evento.

Diferente da pluviosidade, foram analisados outros fatores, que por sua vez são interpretados como agentes predisponentes, ou seja, são um “[...] conjunto de condições geológicas, geométricas e ambientais que irão contribuir para que os movimentos de massa ocorram” (Guidicini e Nieble, 1976). O primeiro destes fatores investigados foi a litologia em que cada uma das cicatrizes se aloja, através do cruzamento dos dados espaciais dos polígonos com o mapa geológico. Desta forma foi possível constatar uma ampla relevância de cicatrizes alojadas em Metapelitos, como pode ser evidenciado na figura 3. Tendo em vista a relevância de 56% das cicatrizes se encontrarem em metapelitos, característicos por possuírem foliação, isso pode indicar um fator agravante no deslocamento de massas, principalmente quando o material encontra-se saturado.



Figura 3: Litologias associadas aos Deslizamentos.

Para fator de comparação foi levado em conta, em uma segunda análise, sobre associações de duas ou mais litologias. Levando à conclusão que o fator “presença de Metapelitos” continuou sendo dominante, ou seja, em 66,3% das cicatrizes analisadas existe a presença da litologia Metapelito.

Outro parâmetro relacionado com o fator litológico, também avaliado, foram as unidades estratigráficas em que as cicatrizes estão presentes. Este fator tem papel fundamental no entendimento e conseqüentemente no mapeamento das áreas propensas a deslizamentos. Foi possível observar cinco principais unidades Geológicas com mais representatividade quando o assunto abordado está relacionado com a estratigrafia, sendo elas, Grupo Nova Lima, Formação Cauê, Formação Moeda, Formação Saramenha e Formação Cercadinho, que para fatores de comparação reafirmam a característica litológica anteriormente citada.

No intuito de identificar a morfologia e analisar o comportamento das cicatrizes em estudo, foram seguidos os critérios de “Sestini & Florenzano (2004)”, para aferir a classe de cada um dos deslizamentos. Foi levada em conta a classe de cada um dos deslizamentos (Figura 4), morfologia das cicatrizes, assim como seu padrão de avanço temporal, cobertura vegetal (Figura 5), estruturas planares presentes e também sua disposição sob solo ou rocha fresca (figura 6). Desta forma foi possível identificar os padrões regionais evidentes para a deflagração dos movimentos de massa, por meio da análise sistemática de eventos históricos.

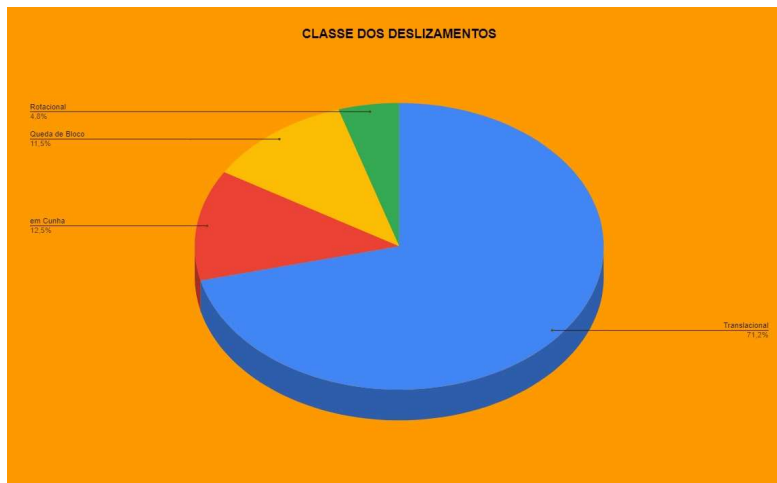


Figura 4: Porcentagem da classe dos movimentos de massa na região.

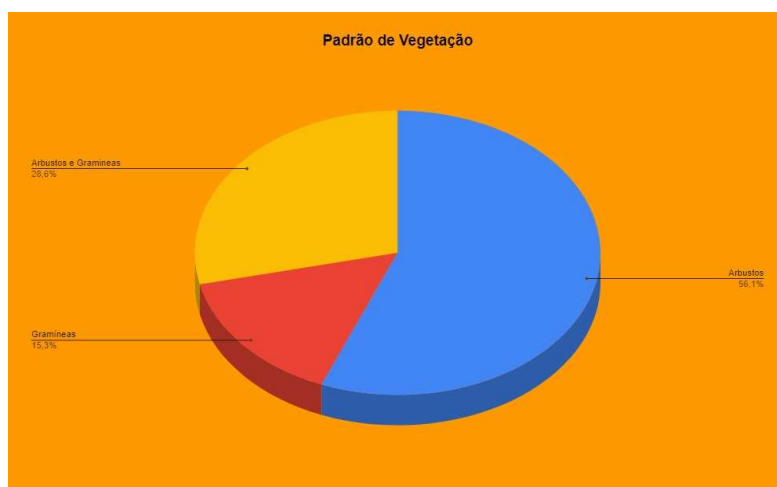


Figura 5: Predominância do tipo de cobertura vegetal de cada cicatriz.

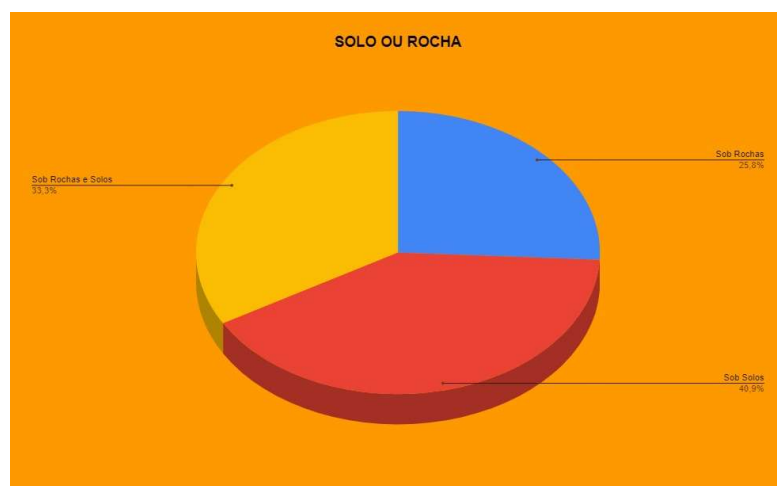


Figura 6: Substrato correspondente a cada Cicatriz.

De acordo com o que foi observado nas figuras 4, 5 e 6 a classe de deslizamentos mais representativa evidenciada no presente estudo foram os deslizamentos translacionais, que por sua vez, são comumente relacionados com camadas pouco espessas de solo ou grandes placas

rochosas associadas a descontinuidades variadas, como por exemplo, falhas, junções, planos de estratificação, ou superfícies de contatos entre rochas e solos.

O padrão pedológico de Ouro Preto, em sua maioria, está relacionado a coberturas pouco espessas, fato evidenciado por 74,2% das cicatrizes estarem concernentes com a presença destes que são propícios a desencadear deslizamentos translacionais quando correlacionados por exemplo à declividade e altos índices pluviométricos. No que diz respeito à vegetação (figura 7) era esperado padrões mais exuberantes figurarem menos em deslizamentos, enquanto padrões como gramíneas estivessem mais presentes. No entanto, a maior ocorrência está relacionada a arbustos, tal fato se explica devido a dois principais fatores, o primeiro envolve o padrão de vegetação da região, ou seja, arbustos estão comumente presentes na paisagem ouropretana, já o segundo fator é validado através da maior influência de outros fatores preponderantes para tais eventos, como é o exemplo da declividade das encostas.



Figura 7: Declividade das cicatrizes em graus.

O fator declividade se mostrou ser um dos principais fatores responsáveis pelo desencadeamento dos processos em estudo, uma vez que em sua ausência os deslizamentos são praticamente inexistentes. Foi possível constatar também, que a partir do aumento deste fator, os movimentos tendem a ocorrer mais facilmente e com maior intensidade, principalmente no que diz respeito à magnitude.

Na região de estudo, foram delimitadas declividades de cicatrizes nas mais variadas faixas, entretanto padrões puderam ser observados. Entre eles, é interessante notar, a maior faixa de ativação para tais movimentos, sendo ela a faixa entre 21 graus e 30 graus de inclinação das encostas. Este intervalo representa mais da metade das ocorrências de deslizamento, portanto deve ser monitorado cautelosamente. Casos mais específicos ocorrem abaixo dessa faixa, onde outros fatores são capazes de agravar tal estabilidade, assim como ocorrem deslizamentos em faixas superiores a 30 graus, onde provavelmente a coesão do substrato é maior e a deflagração precisa romper uma barreira mais elevada.

Por último, a amplitude das encostas (figura 8) que alojam tais feições também foram objeto de análise para o estudo, entretanto não foi possível chegar a uma conclusão mais específica de padrões, uma vez que foram observadas cicatrizes nas mais variadas amplitudes, como mostra o gráfico a seguir:



Figura 8: Amplitude das encostas que alojam cicatrizes.

5. CONCLUSÕES

A partir dos dados observados neste trabalho foi possível estabelecer de forma satisfatória as relações entre os limiares geomorfológicos que deflagram os movimentos de massa, colaborando com o entendimento, e aumentando o nível de previsibilidade de tais eventos. Foi possível dividir os fatores condicionantes para os movimentos em dois tipos variados, sendo eles agentes efetivos e agentes predisponentes, que quando em consonância, favorecem a ativação de movimentos de massa nas encostas do município de Ouro Preto e seus entornos.

Dentre os principais limiares geomorfológicos se destaca a declividade, principalmente na faixa que compreende 21 graus a 30 graus de inclinação, valendo ressaltar a atividade antrópica na elevação deste fator em alguns casos. Outro fator citado como determinante, por ser o principal gatilho para a deflagração, é a pluviosidade. Ponderando o índice médio para deflagração, sendo de 22mm acumulados ao longo de 5 dias.

A Litologia da região exerce papel protagonista em tais eventos, pois confere características muito particulares à geotecnia das encostas, quando por exemplo existe a ocorrência da tradicional foliação em Metapelitos. Assim como os padrões mecânicos pedológicos que determinam o comportamento dos solos sob ação pluviométrica intensa.

Por último vale ressaltar também a principal classe de movimento de massa evidenciado nas cicatrizes, que é representada em 71,2% dos casos por deslizamentos translacionais. A partir dos resultados obtidos no presente trabalho foi possível entender o comportamento dos limiares geomorfológicos responsáveis pela deflagração de movimentos de massa em Ouro Preto, colaborando assim para a gestão de riscos Geológicos no Município, uma vez que se torna possível antever e suprimir tais eventos catastróficos juntamente com a CPRM e a Defesa Civil municipal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CPRM e CNPq pelo fomento à pesquisa e às bolsas de pesquisa, e ao Departamento de Geologia da Escola de Minas pelo suporte oferecido.

REFERÊNCIAS

SOBREIRA, Frederico Garcia; FONSECA, Marco Antônio. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. 2001.

PINHEIRO, ANTÔNIO LUIZ; SOBREIRA, FREDERICO GARCIA; LANA, MILENE SABINO. Riscos geológicos na cidade histórica de Ouro Preto. Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, v. 1, n. 2004, p. 87-101, 2004.

Sobreira F.G., Fonseca M. A. 2001. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto. Revista Portuguesa de Geotecnia, 92: 5-28.

HADER, E. C.; CHAMBERLIN, R. T. The geology of central Minas Gerais. J. Geol, v. 23, n. 445, p. 341-424, 1915.

Nogueira, F. R.; CARVALHO C. S.; GALVÃO T. 2005. Diagnóstico expedito da gestão de riscos em encostas nos municípios brasileiros. In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 11, Florianópolis. Anais..., ABGE, São Paulo, 2005

Florenzano, T.G. 2008. Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. Oficina de Textos. 318 p.

Sestini, M.F. & Florenzano, M.G. 2004. Caracterização de Cicatrizes de Deslizamentos por Processamento de Dados TM Landsat em Caraguatatuba - SP. Geologia USP.

Pedrosa, M.A.F. 2013. Avaliação de susceptibilidade a movimentos de massa e erosão no município de Ouro Preto/mg. Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da UFOP, Universidade Federal de Ouro Preto

CASTRO, Jeanne Michelle Garcia. Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto. 2006.

MENEZES, P. R; ALMEIDA, T. Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto. Brasília: UNB, 2012

PINHEIRO, Antônio Luiz; SOBREIRA, Frederico Garcia; LANA, Milene Sabino. Influência da expansão urbana nos movimentos em encostas na cidade de Ouro Preto, MG. Rem: Revista Escola de Minas, v. 56, n. 3, p. 169-174, 2003.

Highland, L.M., and Bobrowsky, Peter, 2008, The landslide handbook – A guide to understanding landslides: Reston, Virginia, U.S. Geological Survey Circular 1325, 129p.

SOUZA, M.L., (1996). Mapeamento geotécnico da cidade de Ouro Preto / MG (escala 1: 10.000) – Susceptibilidade aos movimentos de massa e processos correlatos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

SOBREIRA, F. G. (1989). A ocupação desordenada de encostas na cidade de Ouro Preto. Revista da Escola de Minas, Ouro Preto, v. 42, n. 4, p. 12-16.

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. (1991) Correlação entre chuvas e escorregamentos – Município de Petrópolis. São Paulo: Divisão de Geologia

FERNANDES, G.; SOBREIRA, F.G.; GOMES, R.C. (2002). Caracterização e Classificação Geomecânica da Encosta do Morro do Curral-Centro de Artes e convenções de Ouro Preto. In: 10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental, 2002, Ouro Preto / MG, 2002

ALMEIDA, M. C. J.; NAKAZAWA, V. A.; TATIZANA, C. (1993). Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos no Município de Petrópolis, RJ. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA, 7., Poços de Caldas. Anais... Poços de Caldas: ABGE, 1993, p. 129-137.