

## Uso de técnicas de geoprocessamento no zoneamento de áreas de risco de escorregamento em Ouro Preto - MG

Guilherme José Cunha Gomes<sup>1</sup>  
Frederico Garcia Sobreira<sup>2</sup>  
Jeanne Michelle Garcia Castro<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ed., Rodovias e Transportes do ES – DERTES  
CEP – 29052-120 – Vitória – ES, Brasil  
guilherme.cunha@derter.es.gov.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Ouro Preto – Escola de Minas/DEGEO  
CEP - 35400-000 – Ouro Preto – MG, Brasil  
sobreira@degeo.ufop.br

<sup>3</sup>Pimenta de Avila Consultoria Ltda  
Belo Horizonte – MG, Brasil  
jeanne.castro@pimentadeavila.com.br

**Abstract.** Due to the overwhelming number of landslides which takes place in the urban area of Ouro Preto (MG), a study of accidents occurred between 1988 and 2004 has been developed, based on the city's Fire Brigade reports. It has then been possible to elaborate a map highlighting the most critical areas surrounding the city. Such areas were then tagged as low, medium and high risk. The correlation between landslides and rainfall has been presented. Geoprocessing has been done an excellent tool in the city physical analysis. The research has been sponsored by FAPEMIG.

**Palavras chave:** landslides, rainfall, Ouro Preto, geoprocessing, movimentos de massa, pluviosidade, Ouro Preto, geoprocessamento.

### 1. Introdução

O desafio da formulação de uma urbanização adequada é uma tarefa árdua num país em desenvolvimento e com características naturais tão diversas como no Brasil. O mapeamento das áreas de riscos geológicos é um importante meio de gestão territorial/ambiental, sendo aplicado dentro dos princípios do desenvolvimento sustentável, como um mecanismo de prevenção aos acidentes geológicos.

Os altos índices de acidentes relacionados a movimentos de massa em Ouro Preto-MG promoveram o interesse de pesquisadores e resultaram em diversos trabalhos, abordando questões relacionadas com o uso e ocupação do solo e aos problemas geológicos/ geotécnicos existentes na cidade.

Em 1975 a Fundação João Pinheiro realizou um estudo que abordou os aspectos físicos, sócio-econômicos e administrativos para Ouro Preto e Mariana. Neste trabalho, apesar da preocupação com a ocupação da cidade, não foram desenvolvidos aspectos relacionados às características geológicas do local.

A Carta Geotécnica de Ouro Preto, desenvolvida por Carvalho em 1982 na escala de 1:2.000 foi uma tentativa de orientação da expansão da cidade. Foram realizadas as descrições das características físicas e geológicas locais e como produto final do trabalho foi elaborada uma Carta de Risco, baseada no cruzamento da Carta de Declividades com a Carta de Qualidade do Terreno, ambas também desenvolvidas no estudo. Apesar da Carta ser um bom indicador para a ocupação da cidade, ela não foi utilizada nem pelos moradores, nem pelo

poder público, além da cidade atualmente ter crescido para fora dos limites mapeados pela Carta Geotécnica de Ouro Preto.

Com a ocupação irregular, diversas situações de risco foram causadas. Sobreira (1989) apontou os pontos mais críticos da cidade em relação à instabilidade do terreno. Neste mesmo ano ocorreram fortes chuvas provocando vários danos materiais à população. Devido a essas chuvas foram elaborados dois relatórios, sendo um definindo as principais áreas de risco e outro apontando algumas soluções estruturais (Sobreira, 1990 e Sobreira et al, 1990).

Sobreira (1990) levantou as áreas de risco geológico e as áreas afetadas após as chuvas de 1989, apresentando novamente os locais mais problemáticos. Em outro relatório, Sobreira et al. (1990) apontaram algumas soluções para as áreas problemáticas de Ouro Preto, baseados em visitas de campo, lançamento das ocorrências em mapas e registro fotográfico. Já neste trabalho eram indicados como sugestão o cadastramento detalhado das áreas de risco e a criação de um sistema de defesa civil para a cidade.

Souza (1996) realizou novo mapeamento geotécnico da área urbana de Ouro Preto (escala 1:10.000) e avaliou os movimentos de massa e processos correlatos. Além do mapeamento geotécnico, foi proposta uma carta de zoneamento geotécnico voltada para a susceptibilidade à ocorrência de movimentos de massa.

Bonuccelli (1999) e Bonuccelli & Zuquette (1999) elaboraram um estudo sobre os movimentos gravitacionais de massa e os processos erosivos em Ouro Preto, descrevendo os tipos de processos envolvidos, dimensões, materiais e estados de atividade. O levantamento dos movimentos foi realizado através de fotografias aéreas e trabalhos de campo, sendo também elaborado um cadastro dos movimentos de massa baseado nas ocorrências atendidas pelo Corpo de Bombeiros de Ouro Preto. Os autores apontam à urgência da criação de um plano de gerenciamento e minimização dos riscos associados aos movimentos de massa.

Face ao exposto, o presente estudo objetivou avaliar, por meios de técnicas de geoprocessamento as principais áreas de risco geológico/geotécnico de Ouro Preto, a partir de dados históricos de ocorrências registradas pelo Corpo de Bombeiros. Obteve-se um banco de dados georreferenciado que proporcionou a definição das principais regiões de susceptibilidade a movimentos de massa.

O estudo foi desenvolvido no âmbito do projeto de pesquisa “Análise geoambiental aplicado à gestão territorial: estudo do alto Rio do Carmo, sub bacia do Rio Doce, com ênfase nas áreas urbanas de Ouro Preto e Mariana”, financiado pela FAPEMIG – Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais.

## **2. Materiais e Métodos**

### **2.1 Caracterização do meio físico**

A cidade histórica de Ouro Preto está situada na extremidade sudeste de região conhecida como Quadrilátero Ferrífero, na zona mineiro-metalúrgica do Estado de Minas Gerais, a 90 km da capital, Belo Horizonte.

O clima é marcado pela elevada pluviosidade, com maior concentração entre os meses de outubro e março. Os verões são suaves, concentrando a maior parte da precipitação anual (entre dezembro e fevereiro) e os invernos chegam a registrar temperaturas negativas, com elevada umidade atmosférica. As características básicas são de um clima tropical de montanha, em que a baixa latitude é compensada pela altitude e conformação orográfica regional (Carvalho, 1982). A temperatura média anual em Ouro Preto é de 18,5 °C, sendo janeiro o mês mais quente (média de 21,2 °C) e junho o mês mais frio (média de 15,5 °C).

A morfologia local caracteriza-se por altas montanhas de desenvolvimento linear, áreas aplainadas com altitudes diversas e vales alongados, muitas vezes bem encaixados. Cerca de

40% da área urbana exibe feições com declividades entre 20 a 45% e apenas 30% com declividades entre 5 e 20%. Zonas escarpadas são comuns em toda a área urbana (Gomes et al., 1998).

O relevo é acidentado com vertentes bem íngremes e vales profundos e encaixados. As altitudes estão em torno de 1.060m nas partes mais baixas e 1.400m no topo da Serra de Ouro Preto. A malha urbana estende-se ocupando tanto o vale principal, como as vertentes e contrafortes das serras que o delimitam.

O substrato é constituído por metassedimentos de idade paleoproterozóica - filitos, quartzitos, xistos e formações ferríferas - profundamente afetados por eventos tectônicos. É comum a ocorrência, nos topos e nas vertentes dos morros, de coberturas superficiais de crosta laterítica, localmente denominadas de “canga”. Os solos, quando ocorrem, são muito pouco espessos, na ordem dos centímetros, exceto por algumas manchas maiores de material coluvial.

As litologias caracterizam-se por apresentar, além da foliação metamórfica marcante, descontinuidades planares (falhas e fraturas), que influenciam profundamente seu comportamento geotécnico. O estado de alteração e o intenso fraturamento das rochas contribuem ainda mais para o fraco comportamento geotécnico dos terrenos locais.

A região de Ouro Preto possui alta pluviosidade, concentrada principalmente entre os meses de outubro e março, concentrando 87% da precipitação anual (tabela 1). Os meses mais chuvosos são dezembro e janeiro. A média diária de chuva encontrada foi de 4,4 mm, sendo que o máximo de precipitação diária, no decorrer do período analisado, foi de 115,2 mm em 18 de janeiro de 1991.

Tabela 1: Precipitação média mensal em Ouro Preto de 1988 a 2004, em mm.

Ano	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Total
1988	290,6	278,5	99,5	205,4	53,0	0,8	0,0	0,0	33,4	80,2	127,7	177,7	1.346,8
1989	176,6	317,4	188,1	16,2	1,1	40,9	49,5	28,1	93,7	154,2	212,8	555,1	1.833,7
1990	88,8	141,5	109,3	75,0	61,9	12,2	30,7	52,4	44,9	69,8	159,4	159,2	1.005,1
1991	604,5	256,1	310,1	65,1	37,0	7,5	2,6	2,0	93,4	115,0	158,1	277,5	1.928,9
1992	694,2	304,8	91,0	116,6	95,2	2,7	29,4	38,4	186,4	194,7	347,7	411,3	2.512,4
1993	144,8	204,0	162,3	165,1	40,4	8,9	0,0	11,6	67,1	200,4	136,2	284,7	1.425,5
1994	367,0	59,5	206,1	60,8	35,6	3,9	2,0	0,0	1,2	119,6	130,0	329,5	1.315,2
1995	152,1	188,5	225,1	64,7	24,3	4,5	1,7	0,0	15,7	178,3	198,3	514,5	1.567,7
1996	148,0	275,3	167,4	51,6	49,4	0,0	0,0	5,6	96,5	153,2	407,3	400,5	1.754,8
1997	572,9	138,1	208,0	96,5	20,8	0,0	0,0	3,1	90,6	194,3	189,0	165,6	1.678,9
1998	322,4	299,3	114,9	70,0	70,5	0,7	3,2	41,4	18,8	164,3	233,5	166,7	1.505,7
1999	152,9	120,2	336,0	23,0	1,5	3,9	0,1	0,0	37,8	87,6	298,6	252,8	1.314,4
2000	490,5	131,9	179,4	20,4	4,0	0,0	12,3	29,7	75,9	77,2	337,1	272,5	1.630,9
2001	251,9	75,4	188,8	24,0	38,9	0,0	2,5	16,2	60,8	114,2	341,2	347,7	1.461,6
2002	343,6	280,1	112,3	25,8	71,5	0,0	1,0	44,5	127,4	30,6	368,3	449,1	1.854,2
2003	502,1	59,0	158,0	61,6	15,8	0,0	1,4	33,5	22,4	70,1	279,1	265,5	1.468,5
2004	261,4	318,0	241,7	149,6	50,3	21,6	43,4	0,0	0,0	68,9	221,7	390,9	1.767,5
Média	327,3	202,8	182,2	76,0	39,5	6,3	10,6	18,0	62,7	121,9	243,9	318,9	1.610,1

Fonte: Castro (2006).

## 2.2 Cadastro dos Movimentos de Massa

A coleta de dados foi dividida em duas etapas, sendo que a primeira consistiu na compilação dos dados de movimentos de massa e dos dados pluviométricos entre os anos de 1988 a 1998 do trabalho de Bonuccelli (1999) e a segunda parte foi o complemento destes dados até o ano de 2004, utilizando as mesmas fontes de coleta.

O cadastro dos movimentos de massa foi retirado dos boletins de ocorrências do Corpo de Bombeiros da cidade, que é o responsável pelo atendimento a esse tipo de acidente. Através do registro dos Bombeiros foi possível obter as informações sobre a data, localidade e o tipo de acidente ocorrido. No entanto, a hora exata do acidente não é registrada.

Foi realizada então uma triagem nestes dados, retirando-se as ocorrências não relacionadas com movimentos de massa, tais como inundações e possibilidades de ocorrência e registros não correlacionadas com chuvas (sem registro pluviométrico nos últimos 30 dias). Restaram 417 ocorrências para o cadastro final, sendo que 81,1% foram escorregamentos ou início de escorregamento. A terminologia “início de escorregamento” foi retirada do cadastro do trabalho de Bonuccelli (1999), devido às dúvidas de sua ocorrência ou não. A figura 1 mostra a distribuição das ocorrências de escorregamentos na cidade por ano.

Paralelamente à organização do cadastro, foram realizadas visitas de campo, para reconhecimento das áreas dos acidentes e plotagem das ocorrências em um mapa viário do município, gentilmente cedido pela Prefeitura Municipal, complementando o mapa de cadastro de movimentos de massa de Bonuccelli (1999). Através do mapa final dos registros, foi possível visualizar os principais pontos da cidade onde ocorrem os maiores problemas relacionados aos acidentes de movimentos de massa e delimitar as áreas de maior incidência dos mesmos.

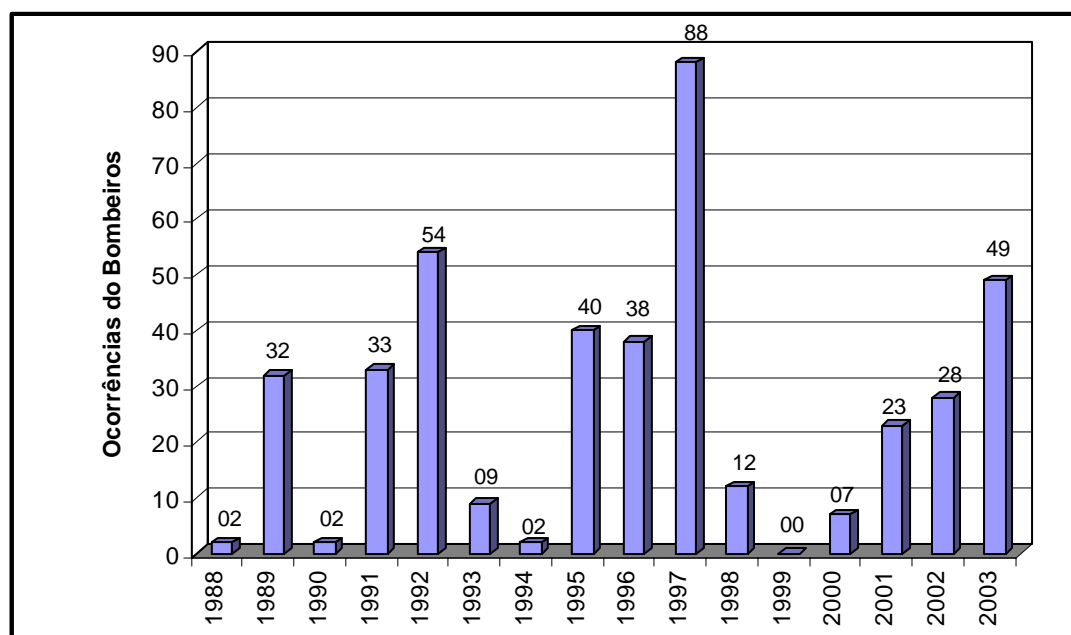


Figura 1: Distribuição das ocorrências de escorregamentos na cidade por ano. Fonte: Castro (2006).

### 2.3 Uso de ferramentas de geoprocessamento

Para a elaboração da Carta de Susceptibilidade ao Escorregamento ou zoneamento de risco (escala 1:10.000), foi necessária a criação de uma base cartográfica digital da área urbana de Ouro Preto, além de um sistema de informações geográficas, utilizando recursos de geoprocessamento (software Arc Map, versão 9.0).

O processo de georreferenciamento dos registros do cadastro, realizado por Gomes (2005), foi desenvolvido a partir da plotagem de pontos contidos em arquivo raster do trabalho de Bonuccelli (1999). A base cartográfica da área urbana de Ouro Preto foi obtida a partir do mapa viário da área urbana da cidade (Prefeitura de Ouro Preto, 2004, na escala

1:2.000), complementada com a topografia na escala de 1:5.000 da Planag (1974). Posteriormente foi realizada a locação das ocorrências dos movimentos de massa ocorridos até 2004.

Dessa forma, de posse de um banco de dados digital (arquivos “shape”) contendo todos os dados necessários para a realização das análises dos escorregamentos, as áreas de risco puderam ser definidas.

### 3. Análise dos resultados

Após a inserção de todos os escorregamentos acontecidos desde 1988 até 2004, sob a forma de arquivos “shape” do software Arc Map, foi possível destacar os locais mais afetados em cada ano, os bairros mais críticos e analisar a evolução dos movimentos de massa ao longo de todos os anos da pesquisa.

Através da análise temporal, ano a ano, foi produzido um quadro diagnóstico da área urbana de Ouro Preto quanto ao risco de escorregamento, destacando-se as áreas mais críticas por ruas de cada bairro.

No mapa com a série completa dos registros de movimentos de massa foi realizado, então, o zoneamento de risco. Os critérios utilizados para a classificação foram a concentração de movimentos na região, as dimensões da área atingida e o histórico das condições geológicas do local. Assim, as zonas de risco foram divididas em três níveis: Risco Baixo (pequena concentração em pequenas áreas), Risco Médio (pequenas concentrações em grandes áreas) e Risco Alto (grandes concentrações em grandes áreas). A tabela 2 mostra os critérios da classificação das áreas.

Tabela 2: Classificação das áreas críticas de Ouro Preto

Nível	Cor	Risco	Concentração	Área
0	Branco	Mínimo	Esparsos	Espalhados
1	Verde	Baixo	Pequena	Pequenas
2	Amarelo	Médio	Pequena	Grandes
3	Vermelho	Alto	Grande	Grandes

Sendo assim, o zoneamento das áreas críticas de Ouro Preto em relação a escorregamentos é apresentado na figura 2. O mapeamento destas áreas é um importante instrumento cartográfico onde está apresentada a distribuição dos acidentes, visando a definição de medidas preventivas para os locais mais problemáticos.

Os processos de instabilização em solos dependem significativamente dos valores pluviométricos acumulados nos dias anteriores à ruptura dos blocos ou solos. De forma geral, os movimentos de massa profundos estão relacionados às chuvas antecedentes acumuladas e os movimentos de massa superficiais são gerados pela intensidade e duração da chuva em períodos mais curtos. Nos períodos chuvosos (estação entre os meses de outubro a março do ano seguinte) dos anos de 1991 e 1992, verificou-se que as ocorrências dos escorregamentos deram-se basicamente durante essa época. No ano de 1991, das 50 ocorrências registradas, 45 foram durante o período acima mencionado, ou seja, 95% dos registros. Analogamente, em 1992, dos 79 registros, 70 ocorreram durante o período chuvoso (aproximadamente 89% das ocorrências).

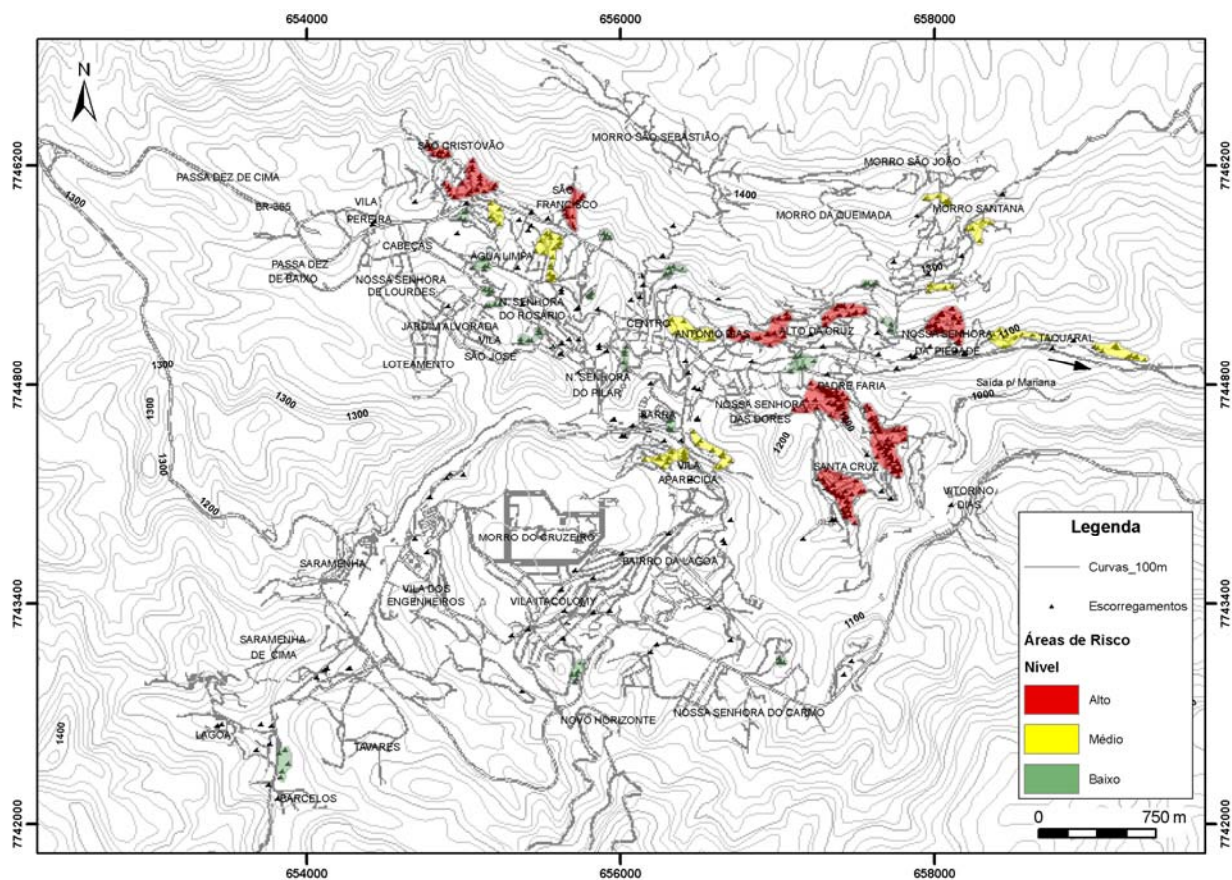


Figura 2: Zoneamento das áreas críticas (escorregamentos) em Ouro Preto.

Esses resultados evidenciam uma relação diretamente proporcional dos escorregamentos com o aumento da pluviosidade. O gráfico da figura 3 ilustra o fato descrito indicando que o maior número de registros do Corpo de Bombeiros ocorre durante o período chuvoso (outubro a março).

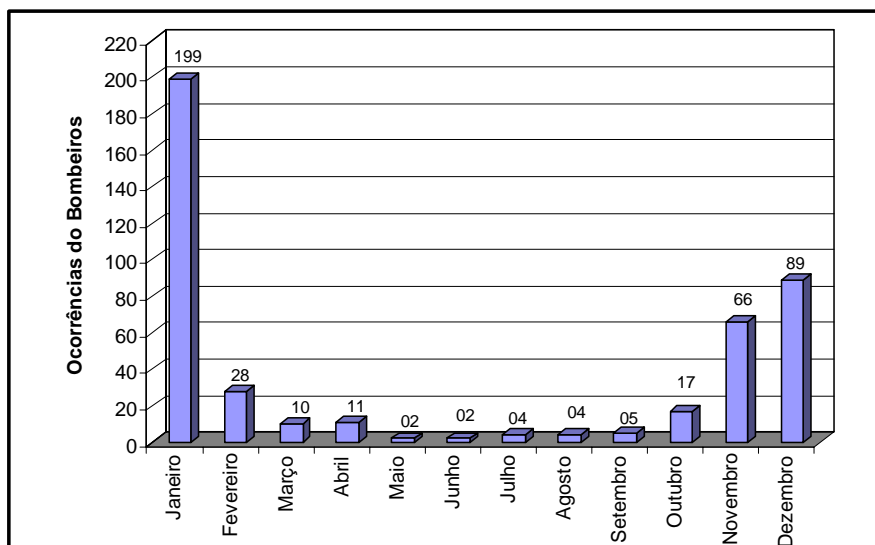


Figura 3: Ocorrências mensais de escorregamentos ocorridas em Ouro Preto de 1988 a 2004 registradas pelo Corpo de Bombeiros. Fonte: Castro (2006).

#### 4. Considerações Finais

Neste trabalho foram apresentadas as áreas onde ocorrem a maior concentração de acidentes relacionados a movimentos de massa em Ouro Preto, demonstrando os lugares que necessitam de intervenções para a prevenção dos escorregamentos. Foi realizado um zoneamento das áreas de risco, classificando-as em alto, médio e baixo risco, de acordo com a quantidade de registros de ocorrências, tamanho da área afetada e as condições locais verificadas em trabalhos de campo.

Uma das causas principais da ocorrência dos escorregamentos é a quantidade de chuva ocorrida no dia e nos dias anteriores. Porém, outros fatores são importantes para seu desencadeamento, tais como as propriedades geológicas e geomorfológicas do local e o processo de ocupação. Esses aspectos não foram escopos deste trabalho, mas são dados importantes a serem pesquisados em estudos futuros.

Os bairros mais afetados são os com as piores condições de ocupação, sendo a maioria deles em antigas áreas de mineração. Sobreira e Fonseca (2001) já alertavam para o problema, abordando as intervenções antrópicas sobre o meio físico e suas conseqüências para os habitantes das regiões onde a situação encontrava-se mais crítica.

O geoprocessamento mostrou-se uma ferramenta importante no diagnóstico de atributos do meio físico, facilitando as análises dos escorregamentos de forma didática e contínua. A elaboração do zoneamento de risco (escorregamentos) da cidade de Ouro Preto, num formato digital, permitiu uma ampla visualização da situação atual de perigo que determinada parte da população local está submetida, devido à desordenada ocupação do território.

As informações produzidas neste trabalho servem como subsídio para a tomada de decisão pelos gestores do setor urbano, buscando a melhoria da segurança da população em geral.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Prefeitura de Ouro Preto pela cessão das bases cartográficas, ao Corpo de Bombeiros de Ouro Preto, pela disponibilização do cadastro de ocorrências e à FAPEMIG, pelo suporte financeiro.

#### Bibliografia

- BONUCELLI, T. & ZUQUETTE, L.V. (1999). Movimentos gravitacionais de massa e erosões na cidade histórica de Ouro Preto, Brasil. **Revista Portuguesa de Geotecnia**, nº 85, p. 59-80.
- BONUCELLI, T. (1999). **Estudos dos movimentos gravitacionais de massa e processos correlatos da área urbana de Ouro Preto / MG**. Tese de Doutorado em Engenharia Civil: Área de Geotecnia. USP / São Carlos.
- CARVALHO, E.T. (1982). **Carta Geotécnica de Ouro Preto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Nova Lisboa. Lisboa.
- CASTRO, J.M.G. (2006). **Pluviosidade e Movimentos de Massa em encostas de Ouro Preto**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração: Geotecnia. Universidade Federal de Ouro Preto.
- FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO (1975). **Plano de Conservação, Valorização e Desenvolvimento de Ouro Preto e Mariana**. (Relatório Síntese). Belo Horizonte, Fundação João Pinheiro.
- GOMES, G.J.C. (2005). **Análise temporal e espacial do risco de escorregamento em Ouro Preto – MG utilizando um Sistema de Informação Geográfica**. Trabalho de Graduação. Engenharia Ambiental, Escola de Minas, UFOP. 45p.
- GOMES, R.C., ARAÚJO, L.G.; BONUCELLI, T; SOBREIRA, F.G. (1998). Condicionantes Geotécnicos do Espaço Urbano de Ouro Preto/MG. **XI Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica**. pp. 363-370.
- PLANAG (1973). **Levantamento aerofotogramétrico e restituição da cidade de Ouro Preto, na escala de 1:2.000**.

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.

SOBREIRA, F.G. (1990). **Levantamento de áreas de riscos no espaço urbano de Ouro Preto – MG**. Relatório técnico. Convênio IPHAN/UFOP/MinC, Ouro Preto. 87p.

SOBREIRA, F.G.; ARAÚJO, L.G.; BONUCCELLI, T. (1990). **Levantamento de soluções estruturais para a contenção de encosta em Ouro Preto**. Relatório técnico. Convênio IPHAN/UFOP/MinC, Ouro Preto, MG. 91p.

SOBREIRA, F.G.; FONSECA, M. A. Impactos físicos e sociais de antigas atividades de mineração em Ouro Preto, Brasil. **Revista Geotecnia**, Lisboa, n° 92. 2001.

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.