

Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG

Resumo

Este trabalho estabelece uma correlação entre taxas de precipitação e escorregamentos na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais. A correlação foi desenvolvida durante dois períodos chuvosos, relativos aos anos de 2006/2007 e 2007/2008. Foram utilizados instrumentos do tipo pluviômetros automáticos, instalados em diferentes áreas de Belo Horizonte, caracterizadas por possuírem terrenos instáveis e susceptíveis aos processos de escorregamentos. Em Belo Horizonte predominam solos residuais de gnaiss, xistos, filitos e depósitos de tálus. Todos estes materiais são susceptíveis a escorregamentos porém a susceptibilidade varia entre eles. Os depósitos superficiais em contato com xistos e filitos são os mais susceptíveis, seguidos pelos filitos alterados e por último os solos residuais de gnaiss. As ocorrências de escorregamentos registradas nos períodos foram comparadas aos registros de pluviosidade, tanto o de chuvas acumuladas antes dos escorregamentos, quanto o de intensidade da chuva no dia do desencadeamento dos eventos. Numerosas ocorrências de escorregamento estão associadas, predominantemente, a eventos de chuva excepcional. Precipitações acumuladas por três dias acima de 100 mm já são desencadeadoras de escorregamentos, entretanto, todos os dias com mais de 6 ocorrências de processos também foram associados com intensa chuva diária (alta pluviosidade em poucas horas).

Palavras-chave: chuvas, escorregamentos, correlação.

Maria Giovana Parizzi
(Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências - IGC,
Departamento de Geologia, Doutora

Cristiane Silva Sebastião
(URBEL – Cia. urbanizadora de Belo Horizonte - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, mestranda UFOP)

Cláudia de Sanctis Viana
(URBEL – Cia. urbanizadora de Belo Horizonte - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, mestre DESA/UFMG)

Marcelo de Carvalho Pflueger
(URBEL – Cia. urbanizadora de Belo Horizonte - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte)

Luciane de Castro Campos
URBEL – Cia. urbanizadora de Belo Horizonte - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, mestranda ETG/UFMG)

Joana Maria Drumond Cajazeiro
(mestranda, pós-graduação - Universidade Federal de Minas Gerais, Depto de Geografia)

Rodolfo Sena Tomich
(bolsista de iniciação científica, graduação geologia – IGC/UFMG)

Roberta Nunes Guimarães
(bolsista de iniciação científica, graduação geologia – IGC/UFMG)

Magda Luzimar de Abreu
(Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências - IGC,
Departamento de Geografia, Doutora

Frederico Garcia Sobreira
(Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP, Departamento de Engenharia Ambiental, Doutor

Ruibran dos Reis
(CEMIG - Cia. Energética de Minas Gerais, Doutor

Abstract:

This work establishes a correlation between landslide and precipitation rates in the city of Belo Horizonte, Minas Gerais. The correlation was developed during two rainy seasons, for the years 2006/2007 and 2007/2008. Rain gauges were installed in different areas of Belo Horizonte, characterized by landslide prone areas. Belo Horizonte geology is composed by soil residual gneiss, schists, phyllites, surface deposits and talus. All these materials are likely to slip but the susceptibility varies between them. The surface deposits in contact with schists and phyllites are the most susceptible, followed by decomposed phyllite and finally the residual soils of gneiss. The occurrence of landslides recorded during the two seasons were compared to records of rainfall like the accumulated rain days before the landslide events and also the intensity of rainfall during the day of triggering of events. Numerous occurrences of landslides were, predominantly, associated, to the events of exceptional rain. Accumulated rainfall for three days longer than 100mm are triggered landslides, however, every day with more than 6 occurrences of cases were also associated with intense rainfall daily (high rainfall in a few hours).

Key-words: rain, landslide, correlation

Recebido 04/2010
Aprovado 07/2010

Agradecimentos

À **FAPEMIG** (Fundação de amparo à pesquisa de Minas Gerais) pelo financiamento do projeto de número CRA- 1191-05.

A toda equipe da **URBEL** (PBH) pela parceria, pelas informações disponibilizadas e atenção dispensada nos trabalhos de campo.

À **COPASA**, pelo espaço cedido para instalação dos pluviômetros.

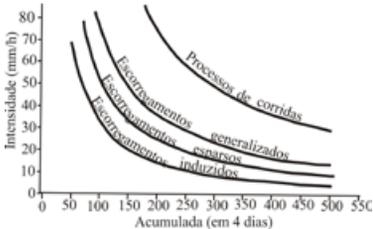
giece@uaigiga.com.br
cristianegeologia@yahoo.com.br
urbel.dmr@pbh.gov.br
urbel.dmr@pbh.gov.br
urbel.dmr@pbh.gov.br
joanamdc@yahoo.com.br
robertanunesg@yahoo.com.br
magda@csr.ufmg.br
sobreira@degeo.ufop.br
ruibran@cemig.com.br

Introdução

O objetivo do trabalho é apresentar correlação entre desencadeamento de movimentos de massa e precipitações no município de Belo Horizonte, Minas Gerais, a partir da análise de dois períodos chuvosos consecutivos. As chuvas são reconhecidas mundialmente como um dos principais agentes não antrópicos na deflagração de movimentos de massa e o principal agente em regiões de clima tropical. A ocorrência de movimentos de massa nas mais variadas cidades brasileiras está sempre associada a episódios de chuvas. A associação entre a deflagração dos movimentos de massa e os índices pluviométricos tem levado alguns pesquisadores a tentarem estabelecer correlações empíricas, probabilísticas ou físico-matemáticas entre a pluviosidade e a ocorrência desses processos (AUGUSTO FILHO, 2001). Entre trabalhos internacionais cita-se Boonsinsuk & Yong (1982), Zaruba & Mencl (1982), Anderson & Pope (1984), Canuti *et al.* (1985), Keefer *et al.* (1987), Eyles & Howard (1988), Suzuki & Matsuo (1988), Janbu (1992), Anagnostopoulos & Georgiadis (1997) e Wieczorek (1996). No Brasil, são conhecidas diversas correlações entre os episódios de chuvas e os movimentos de massa, resultantes de diferentes locais e utilizados em planos de defesa civil. Cita-se os estudos de Guidicini & Iwasa (1976), Tatizana *et al.* (1987), Wolle & Carvalho (1989) e Wolle & Hachich (1989) para encostas da Serra do mar, no sudeste brasileiro, Almeida *et al.* (1993) para Petrópolis, Elbachá *et al.* (1992) para Salvador, Anjos *et al.* (1997) para Maceió, Gusmão Filho (1997) para Olinda, Ferreira (1996), Feijó *et al.* (2001) para o Rio de Janeiro, mais recentemente Santoro *et al.* (2010) para São Paulo, entre outros. Alguns destes trabalhos estão relacionados no Quadro 1.

Em Belo Horizonte, registra-se uma média anual de 400 movimentos de massa a cada período chuvoso, o que implica em inúmeros prejuízos e até perda de vidas humanas. Até o ano de 2005 a correlação entre movimentos de massa e escorregamentos era realizada com o auxílio de alguns pluviômetros que não permitiam o registro da intensidade de chuva e não representavam as taxas pluviométricas de toda a área municipal. A partir de 2006 dois pluviógrafos automáticos foram instalados, um na regional Noroeste e outro na regional Leste. Os aparelhos permitiram a medição em tempo real das taxas diárias de chuva, como também da pluviosidade ocorrida a cada 30 minutos. Foi possível comprovar que os índices pluviométricos são desiguais dentro da área do município ora apresentando diferenças consideráveis. Também existem diferentes susceptibilidades à ruptura dos solos e rochas presentes. Estes fatos são de suma importância para o planejamento de estratégias de ações preventivas aos danos provocados pelas chuvas, pois permite a priorização das medidas para aquelas áreas submetidas à taxas pluviométricas capazes de desencadear escorregamentos e outros movimentos de massa. A eficiência do monitoramento com pluviógrafos estimulou a aquisição e instalação, no ano de 2007, de mais 10 pluviógrafos automáticos que foram instalados em todas nove regionais de Belo Horizonte. A distribuição deste tipo de equipamento é importante, pois as taxas de precipitação variam entre as regiões do município, devido às características do relevo, sua posição geográfica e ao tipo das chuvas. A partir desse ano tornou-se possível o monitoramento detalhado do desencadeamento de movimentos de massa e os índices pluviométricos.

Quadro 1 **Correlações entre chuvas e movimentos de massa para algumas cidades brasileiras**

Cidade ou Região Brasileira	Correlação entre chuvas e Movimentos de Massa	Autores										
Serra do Mar, SP	<p>Desenvolveram a equação para a região paulista: $I(Ac) = KAc^{-0,933}$</p> <p>Onde, $I(Ac)$ = intensidade diária de chuva, Ac = o acumulado de chuva durante 4 dias antes do evento. O fator K é dependente do evento e assume valores iguais a $K = 2603$ para escorregamentos induzidos, $K=3579$ para escorregamentos esparsos, $K = 5466$ para escorregamentos generalizados e $K= 10646$ para corridas. Os resultados estão representados no gráfico abaixo:</p>  <p>Correlação entre chuva e movimentos de massa para a Serra do Mar, São Paulo.</p>	Tatizana <i>et al.</i> (1987a e 1987b)										
Petrópolis, RJ	<p>Foi avaliado que, com relação ao período de chuva acumulada o melhor período foi o de 4 dias, o único a não apresentar incoerência. Estabelecem a relação entre pluviosidade acumulada e eventos de escorregamentos:</p> <table border="1" data-bbox="563 801 1125 986"> <thead> <tr> <th>mm</th> <th>no escorregamentos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30</td> <td>1 a 5 (somente em encostas muito perturbadas)</td> </tr> <tr> <td>40</td> <td>6 a 15 (eventos de maior porte)</td> </tr> <tr> <td>90</td> <td>16 a 30 (eventos de alta magnitude)</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>Acima de 30 (generalizados)</td> </tr> </tbody> </table>	mm	no escorregamentos	30	1 a 5 (somente em encostas muito perturbadas)	40	6 a 15 (eventos de maior porte)	90	16 a 30 (eventos de alta magnitude)	150	Acima de 30 (generalizados)	Almeida <i>et al.</i> (1993)
mm	no escorregamentos											
30	1 a 5 (somente em encostas muito perturbadas)											
40	6 a 15 (eventos de maior porte)											
90	16 a 30 (eventos de alta magnitude)											
150	Acima de 30 (generalizados)											
Salvador, BA	Considera chuvas diárias a partir de 20mm e acumuladas de 4 dias com valores maiores que 120 mm há predominância de escorregamentos.	Elbachá <i>et al.</i> (1992)										
Maceió, AL	Estabelecem fatores probabilísticos de pluviosidade considerando o coeficiente de ciclo móvel (CCM) que é a relação entre o registro pluviométrico acumulado e o acumulado normal de chuva até a data do episódio. $CCM > 1$ sinaliza um período pluviométrico superior à média.	Anjos <i>et al.</i> (1997)										
Olinda, PE	<p>Introdução do parâmetro R (valor representativo do movimento iminente, igual a 600 mm²).</p> $R = P_{ac} \cdot I$ <p>P_{ac} = intensidade de chuva acumulada até o episódio I = chuva de intensidade mínima até o episódio. Ex: Se a chuva acumulada (P_{ac}) é de 60 mm, basta uma chuva de 10 mm para a desestabilização do maciço.</p>	Gusmão Filho (1997)										
Rio de Janeiro, RJ	Consideram as médias 30mm/h, 70mm/24h e 100mm/96h das precipitações pluviométricas para que ocorra um acidente.	Feijó <i>et al.</i> (2001)										
Belo Horizonte, MG	escorregamentos generalizados em todas as litologias ocorrem durante chuva de grande intensidade (altos índices pluviométricos em poucas horas).	Parizzi (2004)										
Campinas, SP	Áreas do embasamento possuem maior susceptibilidade a escorregamentos a partir de 78mm/7 dias. Para as áreas sedimentares as relações não foram satisfatórias.	IDE, Fernanda (2005)										
Ouro Preto, MG	Chuvas acumuladas de cinco dias são as que mais influenciam na instabilização de encostas. Precipitações de 22mm/5 dias podem desencadear eventos. Acima de 128mm/5dias há maior probabilidade de escorregamentos severos.	CASTRO, Jeanne (2006)										

Fonte: Parizzi 2004 e Cajazeiro 2007

Caracterização do clima e dos condicionantes de movimentos de massa em Belo Horizonte

Estação chuvosa de Belo Horizonte

De acordo com Reis e Simões (2007) historicamente o período chuvoso na Região Metropolitana de Belo Horizonte começa em outubro e termina em abril. Em função do calor, no mês de outubro começa a ocorrer as primeiras pancadas de chuvas de final de tarde e é quando chegam as primeiras frentes frias. No mês de abril, as chuvas normalmente ocorrem na forma intermitente, proveniente de frentes frias. Entretanto, nos últimos anos tem sido observada a ocorrência de chuvas provenientes de temperaturas elevadas, chuvas convectivas, que ocorrem com forte intensidade em pontos de algumas regionais.

De acordo com Assis (2001), que apresenta os dados climáticos da série de trinta anos, referentes às Normais Climatológicas de Belo Horizonte, correspondente ao período de 1961 a 1990, o total anual de chuvas é sempre acima de 750 mm.

Em relação ao entendimento dinâmico das chuvas vários autores (Abreu, 1998; Lucas & Abreu, 2004; Lucas, 2007; Moreira, 2002) afirmam que 88% do total anual de precipitação climatológico em Belo Horizonte (1491 mm) concentra-se nos meses de outubro a março, ficando os 12% restantes distribuídos entre abril e setembro. Portanto, há a delimitação de duas estações bem definidas, uma chuvosa e outra seca, intercaladas por dois meses de transição. As chuvas estão associadas ao aquecimento continental, à atuação de sistemas frontais, e à Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS. Lucas & Abreu (2004) e Lucas (2007), analisando a série histórica da capital mineira referente ao período de 1970 a 2000 mostraram que chuvas fortes a extremamente fortes ocorrem mais freqüentemente associadas a ventos do quadrante Norte/Oeste, associadas ao aquecimento continental e a fenômenos de larga escala (ZCAS). As chuvas extremas e associadas a ventos de N/W, que sugerem a influência de ZCAS, ocorrem preponderantemente durante o verão, principalmente novembro, dezembro e janeiro.

No que se refere a flutuações climáticas que definem alterações no padrão climático das chuvas em Belo Horizonte Ribeiro & Mol (1985), sugerem que as características climáticas da RMBH vêm sofrendo alterações no decorrer dos anos, assim como foi percebido ao longo dos períodos estudados. Abreu et. al (1998) sugeriram que fenômenos de larga escala, como *El Niño* e *La Niña*, podem influenciar na dinâmica das chuvas extremas em Belo Horizonte, ocasionando alteração no padrão das precipitações intensas, associadas a linhas de instabilidade e sistemas frontais. Reis & Simões 2007 afirmaram que as precipitações acima de 100 mm num intervalo de 24 horas têm se tornado constantes desde a década de 80 na RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte), sendo que, a cada estação, elas vêm aumentando sua freqüência.

Condicionantes dos movimentos de massa em Belo Horizonte

Belo Horizonte é um município de grande urbanização e as áreas de risco analisadas inserem-se no contexto de área urbana. Movimentos de massa ocorrem tanto em áreas de alto padrão construtivo quanto em áreas de baixo padrão construtivo, o que reforça a importância dos condicionantes físicos no desencadeamento dos mesmos. Todavia, nas áreas de vilas e favelas o risco é agravado pela conjugação dos aspectos físicos e de uso da terra. A tipologia das edificações é muito precária, com casas de alvenaria, madeira, lona, telhas de zinco e, até mesmo, de papelão. A paisagem original da

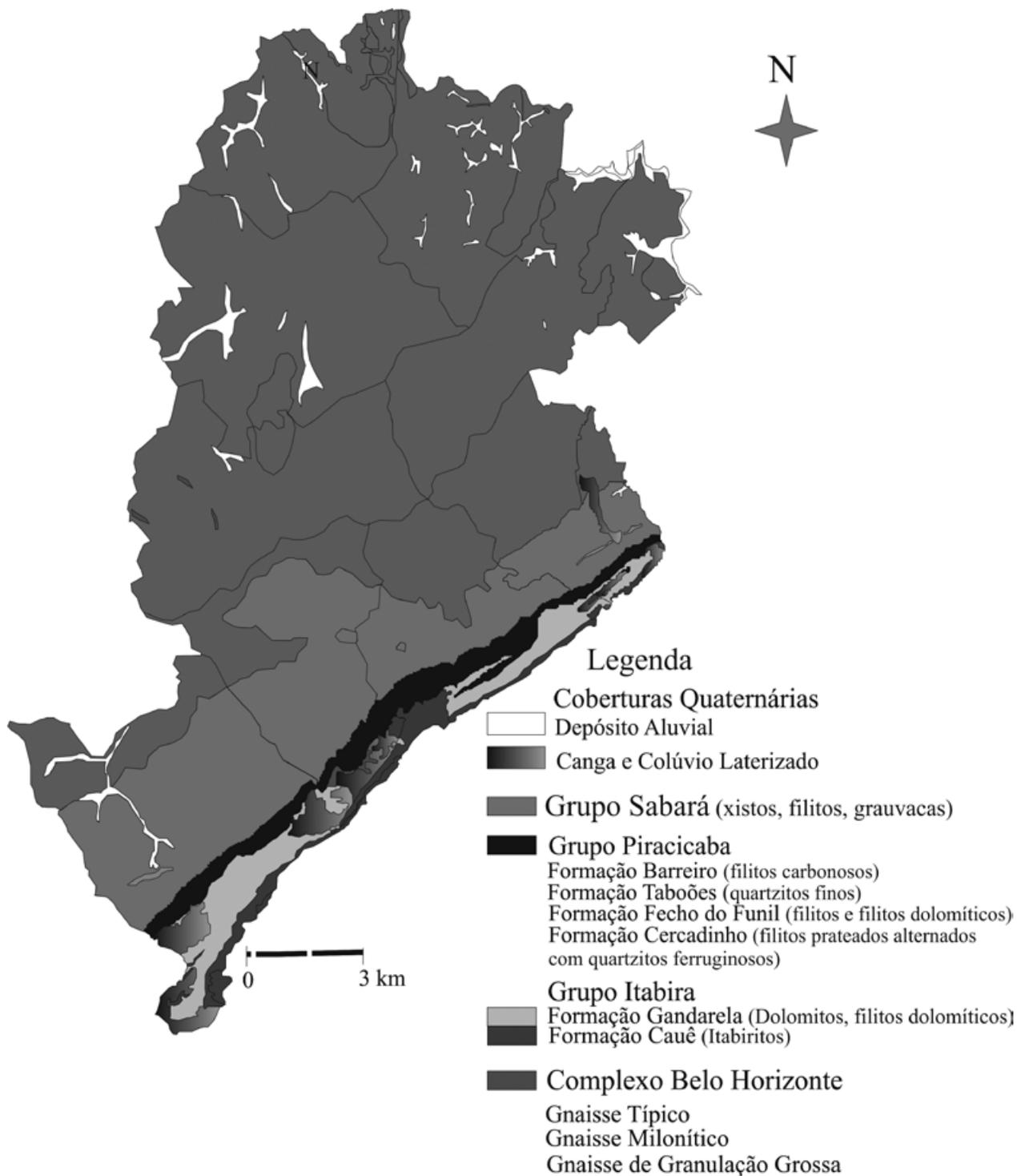
região já foi fortemente modificada devido à intervenção antrópica. A erosão é intensa e o padrão de ocupação irregular, o que, somado às características geomorfológicas e lito-estruturais, como altas declividades, vales encaixados e superfícies côncavas, rochas muito alteradas e xistosas, solos e depósitos superficiais inconsistentes expostos nas faces dos taludes, torna o risco de escorregamento alto. Os fatores mais agravantes relacionados às edificações são a fundação, na maioria das vezes inexistente ou mal projetada, e o tipo de corte feito nos taludes. Os moradores fazem cortes verticalizados nas encostas íngremes para construir suas moradias. Lançam a terra descartada e lixo encosta abaixo, criando depósitos inconsistentes sobre a rocha. Em seguida, outros moradores fazem cortes nestes depósitos e constroem seus barracos sem fundação diretamente sobre estes materiais. Novamente lançam terra descartada e lixo encosta abaixo e, assim, rapidamente, cria-se grande quantidade destes depósitos nas encostas das vilas. As casas são também muito próximas aos taludes de corte ou até apoiadas nestes.

Os terrenos de Belo Horizonte caracterizam-se por uma litologia variada, representada por itabiritos, dolomitos, filitos e quartzitos do Supergrupo Minas, filitos e xistos do Grupo Sabará e gnaisses do Complexo Belo Horizonte, conforme pode ser visto na Figura 1.

O relevo do município é fortemente condicionado pela litologia. A maior parte do município de Belo Horizonte localiza-se na Depressão de Belo Horizonte, com colinas de topos planos a arqueados, com encostas côncavo-convexas e altitudes entre 800-900m, formadas pela dissecação fluvial das áreas gnáissicas promovida pela rede de drenagem dos rios das Velhas e Paraopeba. O compartimento geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero com rochas metassedimentares corresponde a uma fisiografia serrana. As camadas de itabirito (Formação Cauê), protegidas da erosão pelas couraças ferruginosas, constituem a linha de crista e o terço superior da escarpa da Serra do Curral. As altitudes superam os 1.300m, podendo chegar a 1500m. Rochas pouco resistentes ao intemperismo, como os dolomitos e filitos dão origem a áreas aplainadas ou deprimidas, com espessa cobertura laterítica. A área correspondente as formações Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro e Grupo Sabará constitui uma faixa de serras com linhas de cristas de altitudes entre 1.100m e 1.240m. O relevo caracteriza-se por uma sucessão de cristas, constituídas por quartzitos intercalados com patamares suavizados de filito e xisto. (PARIZZI, 2004)

De acordo com Parizzi (2004) na região metropolitana de Belo Horizonte atuam categorias de mecanismos de ruptura particulares de três grupos de materiais geológicos distintos. No primeiro grupo, representado pelas rochas da Seqüência de Metassedimentares, principalmente filitos, os mecanismos de ruptura dependem da relação geométrica entre as descontinuidades dos maciços rochosos e a direção dos cortes dos taludes. Quando os cortes possuem direção oblíqua à xistosidade ocorrem processos erosivos e rupturas em cunha, responsáveis pela mudança da geometria dos taludes e desconfinamento de outras descontinuidades. A partir disso, rupturas planares e tombamentos passam a ocorrer. Quando a orientação dos cortes é paralela à orientação do plano de xistosidade processos como alívio de tensão e a ação da água nas descontinuidades promovem o deslocamento de blocos e rupturas planares subseqüentes. No segundo grupo, representado pelos solos residuais de gnaisses, as rupturas ocorrem, geralmente, no interior de feições erosivas já instaladas. Estruturas reliquias da rocha mãe estimulam rupturas dos solos saprolíticos e saprolitos. A retirada de horizontes superficiais de solo, caracterizados por possuírem maior resistência e menor erodibilidade, contribui consideravelmente para os escorregamentos. No terceiro grupo, representado por depósitos superficiais, as rupturas mais

Figura 1 Mapa geológico simplificado de Belo Horizonte



Fonte: modificado de Viana, 2000

comuns são de tálus, que escorregam estimulados por cortes na base dos taludes. Os movimentos de massa são do tipo fluxo, escorregamentos planares rasos, escorregamentos circulares sucessivos e rastejamentos. Os escorregamentos translacionais ou planares de solo são processos mais freqüentes em Belo Horizonte. São condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, relacionados a feições geológicas diversas (foliação, xistosidade, fraturas, falhas, etc.). No terceiro grupo, ou seja, nas áreas de ocorrência de depósitos superficiais os escorregamentos translacionais de solo ocorrem ao longo do contato dos solos superficiais e o substrato rochoso. Estes processos têm sido denominados como escorregamentos rasos, pois geralmente apresentam pequena espessura com taxa profundidade/comprimento menor que 15%, ou profundidades que não ultrapassam 4 m (Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998). Os fluxos são movimentos gravitacionais de massas de grandes dimensões ou não, que se deslocam na forma de escoamento rápido. Em Belo Horizonte os fluxos geralmente estão associados aos escorregamentos planares. Após o movimento planar a base do material escorregado se move como fluxo devido ao elevado grau de saturação.

Os escorregamentos circulares ou rotacionais possuem superfícies de deslizamentos curvas, sendo comum a ocorrência de uma série de rupturas combinadas e sucessivas. Estão relacionados aos aterros, pacotes de solos ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas (Augusto Filho, 1995; Infanti Jr. & Fornasari Filho, 1998). Os rastejos consistem no movimento descendente, lento e contínuo da massa de solo ou rocha de um talude. Corresponde a uma deformação de caráter plástico, cuja geometria não é bem definida. Os rastejos afetam horizontes superficiais de solo, horizontes de transição solo/rocha, e até mesmo de rocha alterada e fraturada, em profundidades maiores. Esses processos são identificados através de indícios indiretos, como “embarrigamento” de árvores, deslocamentos de muros e outras estruturas, pequenos abatimentos ou degraus nas encostas (Augusto Filho, 1992). Em Belo Horizonte as evidências de rastejos são utilizadas como indicadores de instabilização de taludes durante as vistorias. A espessura do depósito tem grande influência no desencadeamento de um ou outro tipo de mecanismo de ruptura. A maior parte dos movimentos nos taludes analisados ocorre de maneira progressiva, dependendo das mudanças geométricas e dos estados de alteração dos maciços ao longo do tempo. Os condicionantes geológicos influenciam no tipo de ruptura, enquanto as ações antrópicas, as características geomorfológicas e a ação da água interferem no grau de predisposição dos terrenos aos movimentos de massa. As chuvas acumuladas, geralmente, determinam a freqüência e o momento de ocorrência desses processos.

Materiais e métodos

O município de Belo Horizonte é dividido em nove regionais: Barreiro, Centro Sul, Leste, Oeste, Norte, Noroeste, Nordeste, Pampulha e Venda Nova. O trabalho foi dividido em duas etapas. A primeira etapa foi desenvolvida no período chuvoso 2006/2007 e consistiu em monitorar duas regionais, Noroeste e Leste, onde um pluviômetro automático foi instalado em cada uma. A segunda etapa foi desenvolvida no período chuvoso 2007/2008, com a aquisição de mais dez pluviômetros automáticos, o que permitiu o monitoramento das outras sete regionais do município, veja Figuras 2 e 3. Os pluviômetros adquiridos são do tipo automático da HIDROMEC, com tecnologia GSM, confeccionados de aço inoxidável e com área de captação de 400 cm². A sensibilidade deste aparelho é de 0,2mm, pois o dispositivo de marcação consiste em uma caçamba que, quando se movimenta, produz o registro da chuva, dentro de um intervalo de meia em meia hora. Esta movimentação da

caçamba só ocorre quando a chuva atinge o volume de 0,2mm. O pluviômetro possui, ainda, um sifão, que realiza a descarga do excesso de água, gerando eficiência nas medições mesmo de chuvas de alta intensidade e uma placa de captação de energia solar para prover a alimentação do aparelho.

A aquisição dos dados do pluviômetro automático pode ser feita via conexão com o equipamento de telemetria ou acoplado-se o notebook diretamente ao datalogger do aparelho, que possui memória para o acúmulo de dados de cinco anos de chuva com intervalos de uma hora. Atualmente desenvolve-se sistema de aquisição dos dados diretamente pela internet. As leituras foram programadas para registro dos índices pluviométricos a cada meia hora. Os dados são fornecidos em formato de tabelas e gráficos, possíveis de serem lidos por meio do software que acompanha o produto.

Procedimentos durante o Período Chuvoso 2006/2007

Nesta etapa foram adquiridos dois pluviômetros automáticos, que foram instalados em áreas de risco de escorregamento localizadas nas regionais Noroeste e Leste. Uma área de risco consiste em uma região em que haja uma situação perigo de perda ou dano ao homem e às suas propriedades, em decorrência da possibilidade de ocorrência de processo destrutivo, natural ou induzido. As áreas de risco foram mapeadas pela URBEL. A regional Noroeste apresenta predominância de solos residuais de gnaiss do complexo Belo Horizonte e a regional Leste de solos residuais de filitos e xistos. As ocorrências de escorregamentos foram fornecidas pela URBEL-PBH (Cia Urbanizadora de Belo Horizonte, Prefeitura de Belo Horizonte, PBH), que possuem fichas de vistoria, realizadas por técnicos competentes, que contém informações sobre o tipo de processo, relevo, geologia local e ocupação. Algumas das ocorrências de maior relevância foram visitadas pelos os autores para verificação das descrições fornecidas pelas fichas. Para se chegar aos resultados, foi feita uma triagem em que foram contabilizados somente os dados de escorregamento das duas regionais em estudo. As ocorrências foram separadas por regional e por dia e, desse modo, foram associadas às chuvas do dia em questão, além do somatório de quatro dias de chuva acumulada. Esse padrão de quatro dias de chuva acumulada refere-se ao modelo proposto por Almeida *et al* (1993), que se refere ao período de chuvas acumuladas que apresentou maior correlação com os eventos de movimento de massa vistoriados, além de ser o único que não revelou incoerências.

Procedimentos durante o Período chuvoso 2007/2008

Para este período foram analisados os índices pluviométricos de todas as regionais de Belo Horizonte com o auxílio dos 12 pluviógrafos automáticos. Os dados de ocorrência de movimentos de massa foram fornecidos pela equipe parceira da URBEL/PBH. Foram confeccionadas tabelas e gráficos contendo a data da ocorrência e o número de ocorrências, além do tipo de movimento de massa e os índices pluviométricos do período para cada regional (Regionais Leste, Centro Sul, Barreiro, Venda Nova, Noroeste, Nordeste, Oeste, Pampulha, Norte). As regionais de Belo Horizonte e a localização estão na Figura 3.

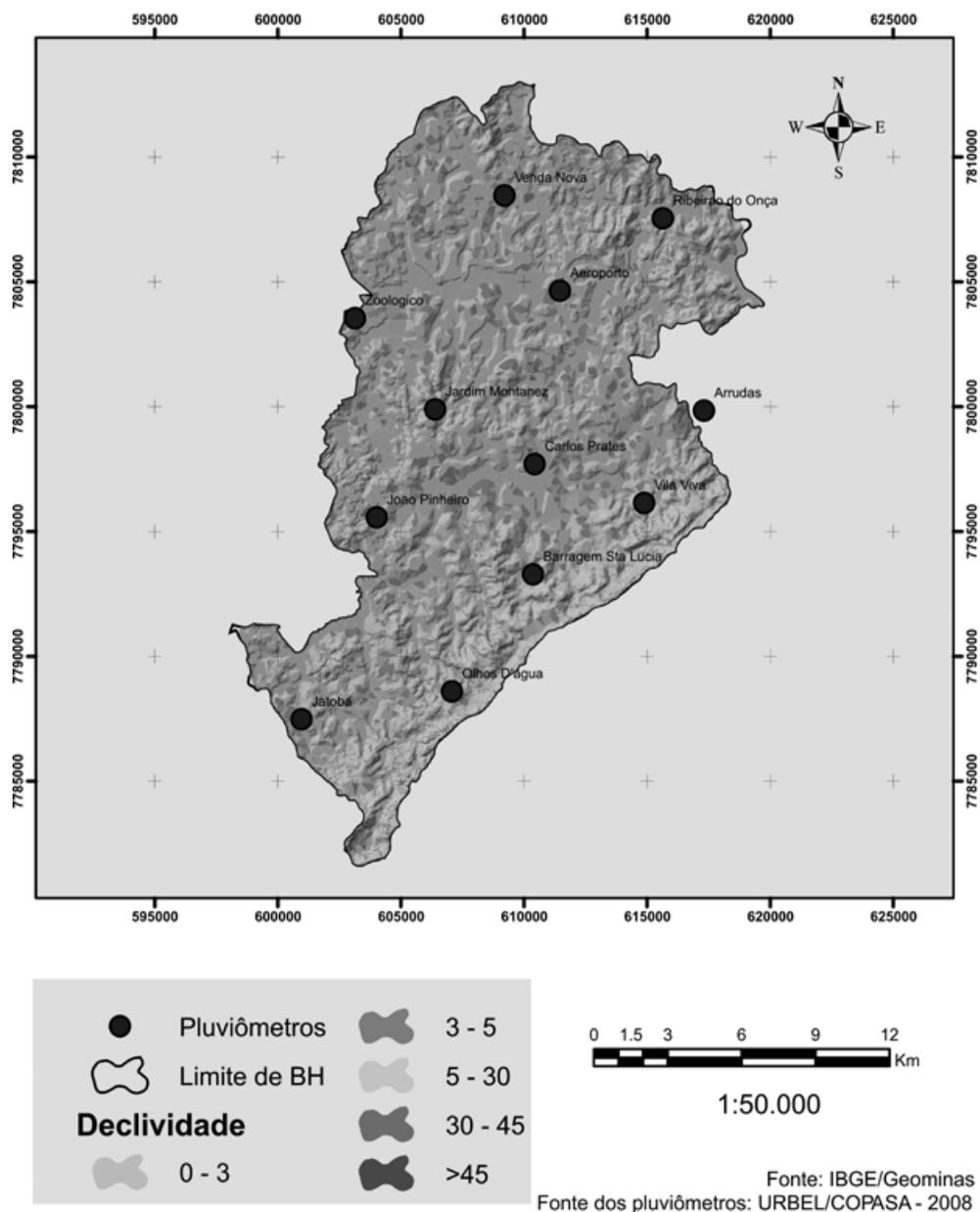
Resultados e discussão

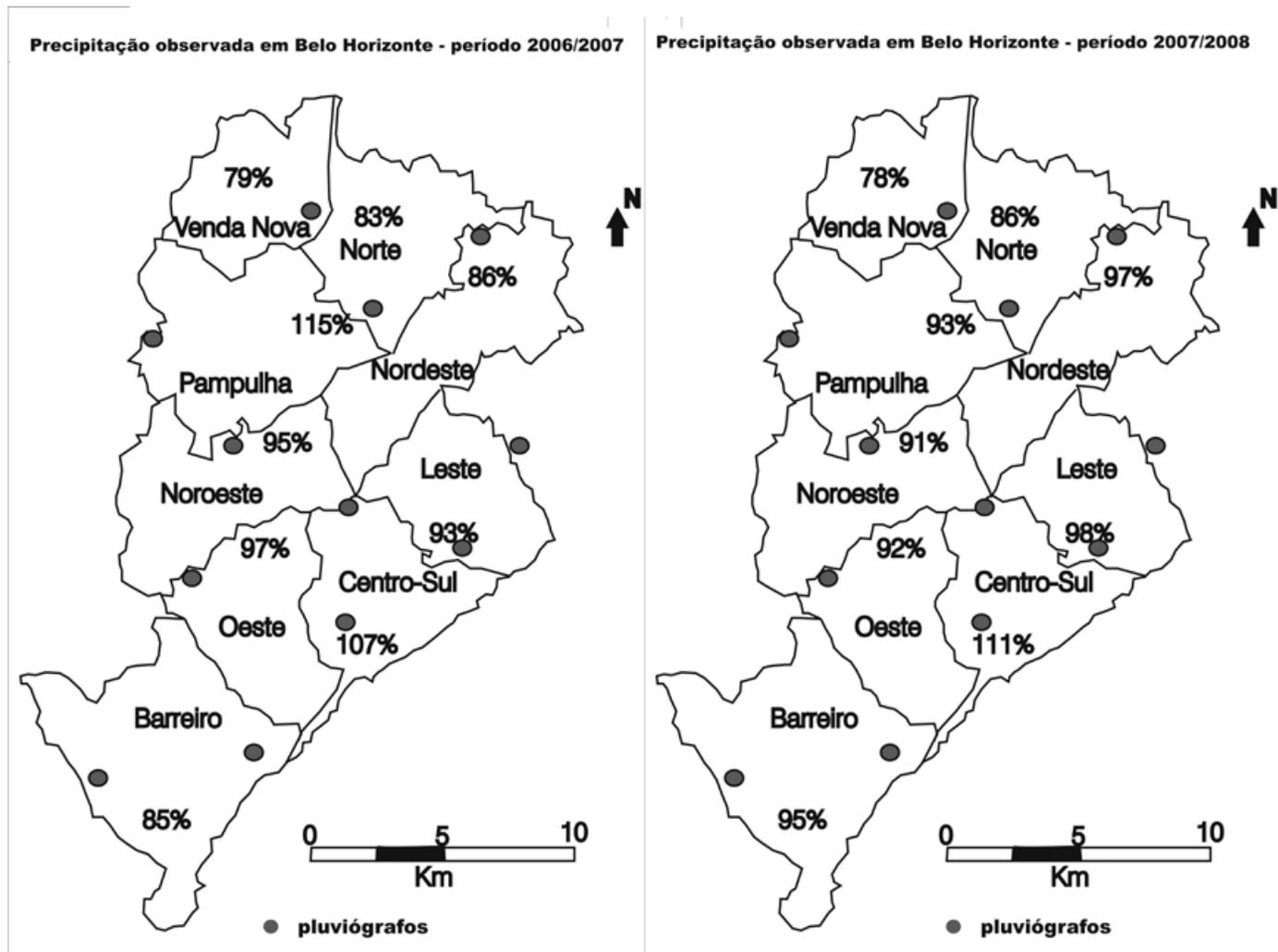
Correlação entre chuvas e escorregamentos para o período de 2006/2007

A estação chuvosa 2006/2007 se iniciou em meados de setembro e apresentou o período de outubro a fevereiro marcado por maior número de dias de chuva que na média histórica, de acordo com o Reis & Simões (2007), porém esta se deu de forma intermitente em um dia e ao longo dos

Figura 2 Localização dos pluviômetros automáticos (círculos) em BH e mapa de declividade do município.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS PLUVIÔMETROS EM BELO HORIZONTE - DECLIVIDADE





Círculos pretos – pluviógrafos.

Fonte: (modificado de MG Tempo/PUC Minas 2008)

dias. Em relação à quantidade de chuva, os meses de novembro, dezembro e janeiro tiveram o total de chuvas acima da média histórica e fevereiro e março ficaram abaixo do previsto. A normal de precipitação para outubro na RMBH é de 123,1mm, mas em 2006 atingiu apenas 70% deste valor. A precipitação esperada para novembro, por sua vez, é de 227,6 mm, todavia ficou 15 % acima da média histórica do mês. Já em dezembro, a média de precipitação é de 319,4 mm, porém esta foi em torno de 3 % mais elevada. Em janeiro espera-se uma precipitação de 296,3 mm, porém foram registrados valores 6 % maiores. Em fevereiro, por sua vez, a média histórica da precipitação é de 188,4 mm, mas observaram-se valores 20% menores. Finalmente, em março, a normal de chuvas

é de 163,5 mm, todavia verificaram-se valores 45% menores. A Figura 3 apresenta a pluviosidade mensal do período de setembro de 2006 a fevereiro de 2007. Pinheiro (1997) ressaltou que valores extremos de precipitações em vinte e quatro horas ocorrem no trimestre janeiro, fevereiro e março. Mas, nesta estação, novembro apresentou, além da maior variação positiva de chuva em relação à normal histórica, uma precipitação superior à de dezembro e à de janeiro.

Os dias 29/11/2006 e 30/11/2006 foram caracterizados por eventos de chuva excepcional, com, respectivamente, 115,4 mm e 105,6 mm na regional Noroeste e 156,0 mm e 74,1 mm na regional Leste.

De acordo com os dados disponibilizados pela URBEL para o período chuvoso analisado, em Belo Horizonte foram registradas 434 ocorrências de movimento de massa. Deste total, 272 (62,67%) foram registradas entre os dias 29/11/2006 e 01/12/2007, sendo que, deste total, **252** aconteceram no dia 30/11/2006. Das 434 ocorrências registradas, 132 instabilizações ocorreram na regional Leste e 41 na regional Noroeste e as 284 restantes nas outras seis regionais de Belo Horizonte. A regional Leste foi responsável por 30,41% das ocorrências, sendo 73,48% dessas ocorridas entre os dias 29/11/2006 a 01/12/2006; e a regional Noroeste foi responsável por 9,45% das ocorrências, sendo 29,27% delas também no período de 29/11/2006 a 01/12/2006. As outras regionais, por sua vez, respondem por 60,14% das ocorrências, sendo 62,06% correspondente a este mesmo período.

Comprovou-se que a distribuição da precipitação por regional em um mesmo horário varia, como pode ser visto no Quadro 2 referente à precipitação ocorrida no município no dia 09/01/2008. Um sistema de alerta deve considerar a localização das áreas com maior taxa pluviométrica no momento da chuva.

Quadro 2 **Variação da precipitação por regional no horário de 03:00 até 06:00 do dia 09/01/2008**

9/1/2008 horário	Norte	Pampulha	Barreiro	Oeste	Centro Sul	Noroeste	Nordeste	Leste	Venda Nova
03:00	20	0	0	0	0	0	0	0	0
03:30	45	16	26	9	1	0	0	0	1
04:00	61	9	9	11	32	21	9	0	5
04:30	28	1	2	2	15	6	11	40	2
05:00	1	0	3	0	0	0	64	1	0
05:30	0	0	0	0	0	2	23	6	1
06:00	0	2	0	0	27	11	0	1	0

Para a análise observou-se número de 3 dias de chuva acumulada. Por meio da análise dos dados acima, foi observado que chuvas excepcionais, tal como já proposto por Parizzi (2004), são responsáveis por eventos generalizados (todos os tipos de movimento de massa descritos para Belo Horizonte).

Durante o período chuvoso analisado foi possível observar que além das discrepâncias mensais em relação à normal, as chuvas se concentraram em alguns períodos mensais com grande intensidade. Não houve chuvas constantes ao longo dos dias e a intensidade de chuva foi variada podendo ocorrer momentos de alta pluviosidade em pouco tempo, como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 Pluviosidade mensal de setembro de 2006 a fevereiro de 2007 (pluviógrafo da estação Engenho Nogueira – Regional Noroeste)

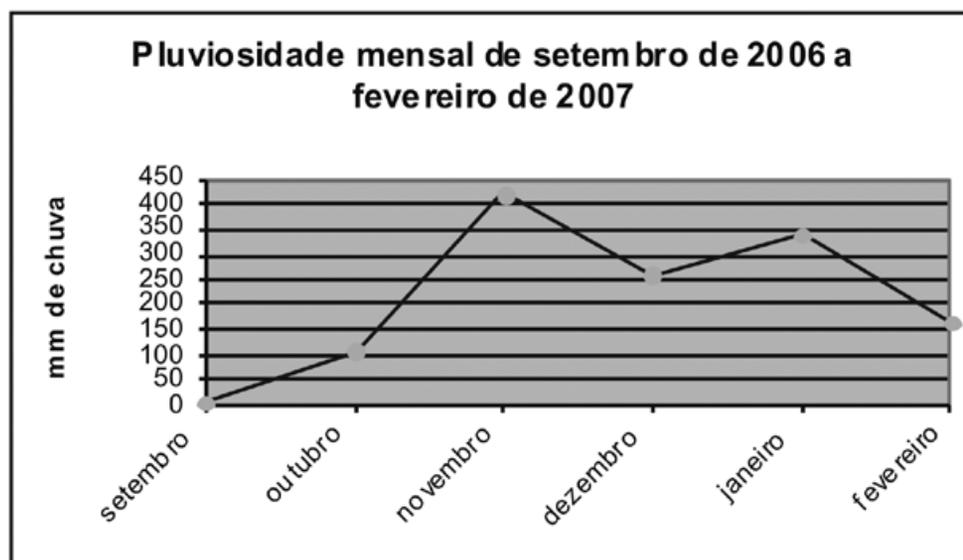
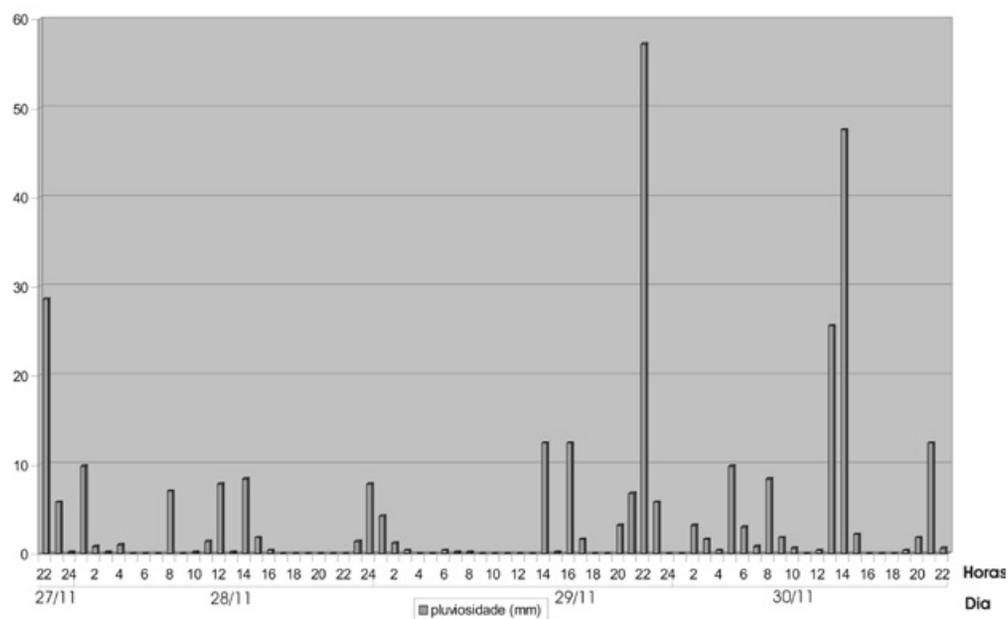


Figura 5 Variação dos índices pluviométricos da estação do Jardim Montanhês (regional Noroeste) ao longo dos dias 27 a 30/11/2006



Na Figura 6 pode-se ver a grande concentração de chuvas no período de 28/11 a 30/11, totalizando 300mm e o número total de ocorrências de movimentos de massa neste período.

Do índice mensal de novembro, equivalente a 419,4mm, 300 mm (73,%) foram concentrados nos dias 28, 29 e 30, que tiveram precipitações equivalentes a 82 mm; 104 mm e 120 mm, respectivamente, como representado na figura 3. Apenas no dia 30/11 ocorreram 252 movimentos de massa nas áreas de risco, sendo 115 na regional Centro-sul e 87 na regional Leste.

A distribuição das ocorrências por regionais para o dia 30/11 pode ser visualizada na Figura 6 e a distribuição total das ocorrências neste período chuvoso está na Figura 7.

Como havia chovido pouco em Novembro antes do dia 28/11, os solos e foliações/fraturas das rochas estavam com baixo grau de saturação. Apenas um movimento de massa ocorreu no dia 28 apesar dos 82mm de chuva diária. Entretanto, 14 processos ocorreram no dia seguinte (29/11) com um valor de chuva acumulada de 188mm e chuva diária de 106 mm. Com o aumento da chuva acumulada para 300 mm e diária para 120 mm foram registrados 252 processos de movimento de massa no dia 30/11. A maior concentração das ocorrências nas regionais Centro-sul e Leste

Figura 6 **Distribuição da pluviosidade e ocorrências de movimentos de massa entre os dias 28 a 30/11/2006**

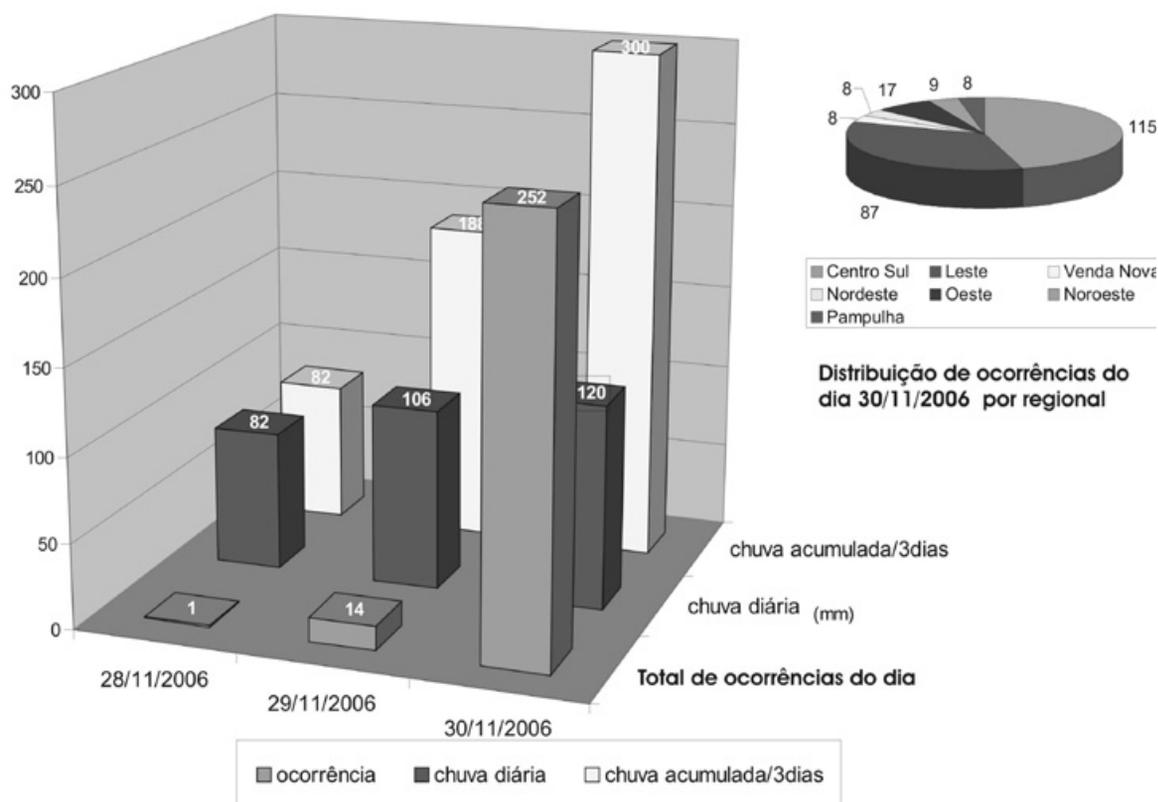
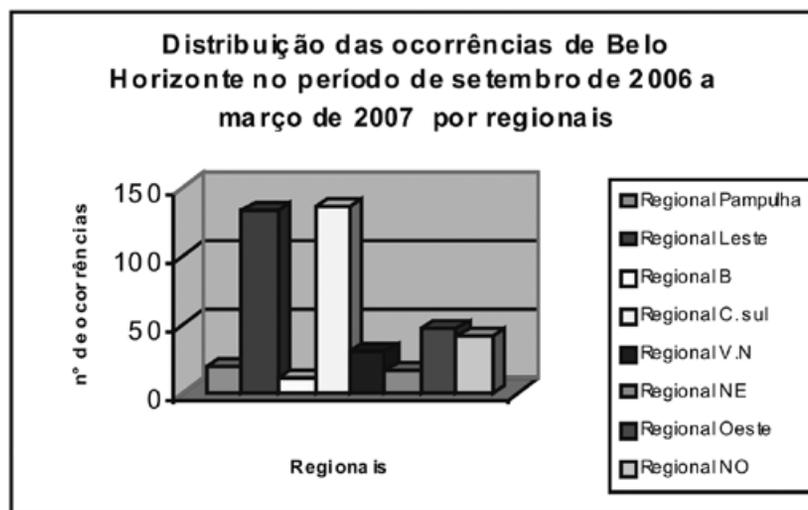


Figura 7 Distribuição das ocorrências de Belo Horizonte no período chuvoso 2006/2007, por regionais.



demonstram que outros condicionantes são importantes para o desencadeamento dos processos. Os filitos alterados e muito fraturados e os depósitos superficiais como tálus e aterros sobre estas rochas são mais susceptíveis à ruptura do que os solos residuais de gnaiss que ocorrem em outras áreas municipais. A topografia também deve ser levada em consideração. As áreas de risco localizadas nas regionais Centro-sul (Barragem) e Leste (Aglomerado da Serra e Taquaril) possuem maiores elevações e declividades (Figura 2).

Correlação entre chuvas e escorregamentos para o período de 2007/2008

No período de outubro de 2007 a março de 2008 houve uma média de 1290 mm de chuva em Belo Horizonte. Diferente do período anterior, os meses com maiores taxas pluviométricas foram Janeiro, Fevereiro e Março com índices acima da média histórica. Os meses de Novembro e Dezembro estiveram abaixo da média histórica. A distribuição da pluviosidade variou entre as nove regionais e a Regional Centro-Sul obteve o maior índice como pode ser observada na Figura 3b.

O número de ocorrências de movimentos de massa foi inferior, com um total aproximado de 219 ocorrências. Desse total, a regional Leste e a Centro sul obtiveram, respectivamente, 58 e 75 ocorrências, ou seja, mais da metade do total. Apenas durante o mês de Janeiro houve 120 ocorrências, concentradas, principalmente, nos dias 29 a 31. Na regional Leste houve movimentos de massa nos intervalos entre os dias 20 a 24/12/2007 (Figura 8) e nos dias 02 a 31/01/2008 (Figura 9), com maior número de ocorrências entre 29 a 31/01/2008. Em todos estes intervalos chuvosos, os dias com mais de 6 ocorrências se caracterizaram por elevadas intensidades com chuvas diárias acima de 60 mm e/ou acumuladas acima de 100 mm. Quando o número de ocorrências é superior a 10, além de chuvas acumuladas em dois dias superiores a 100 mm deve-se levar em consideração chuvas

diárias de grande intensidade, como no dia 30/01 em que houve 76 mm de chuva em 10 horas, ou seja, 7,6 mm/hora (Figura 8, 9 e 10).

Nas outras regionais onde ocorrem solos residuais de gnaiss (Noroeste, Nordeste, Venda Nova, Pampulha, Norte) a chuva foi muito intensa, porém o número de ocorrências foi reduzido. Na figura 11 observam-se 7 ocorrências na regional Noroeste em dia de chuva diária de 73 mm e acumulada em 3 dias de 117 mm.

No dia 01/02/08 houve 5 ocorrências após chuva acumulada de 98,2mm, porém sem chuva diária. Além das diferenças entre as características geotécnicas, que dizem respeito ao comportamento mecânico das rochas e solos com relação à suas susceptibilidades a processos naturais e induzidos (ex.: coesão, resistência à ruptura, grau de fraturamento), e geológicas (ex.: tipo de rocha, mineralogia) dos terrenos, o tipo de uso e atividades humanas podem desencadear movimentos de massa, mesmo quando não há chuva no dia da ocorrência. O mais comum é a ocorrência de vazamento de tubulações de drenagem e esgoto e rede de abastecimento de água e corte ou terraplanagem inadequada de terrenos. Entretanto, ocorrências por tais motivos não são numerosas e podem ser

Figura 8 Índices pluviométricos e ocorrências de escorregamentos nos dias 20, 21 e 24 de dezembro de 2007 na regional Leste

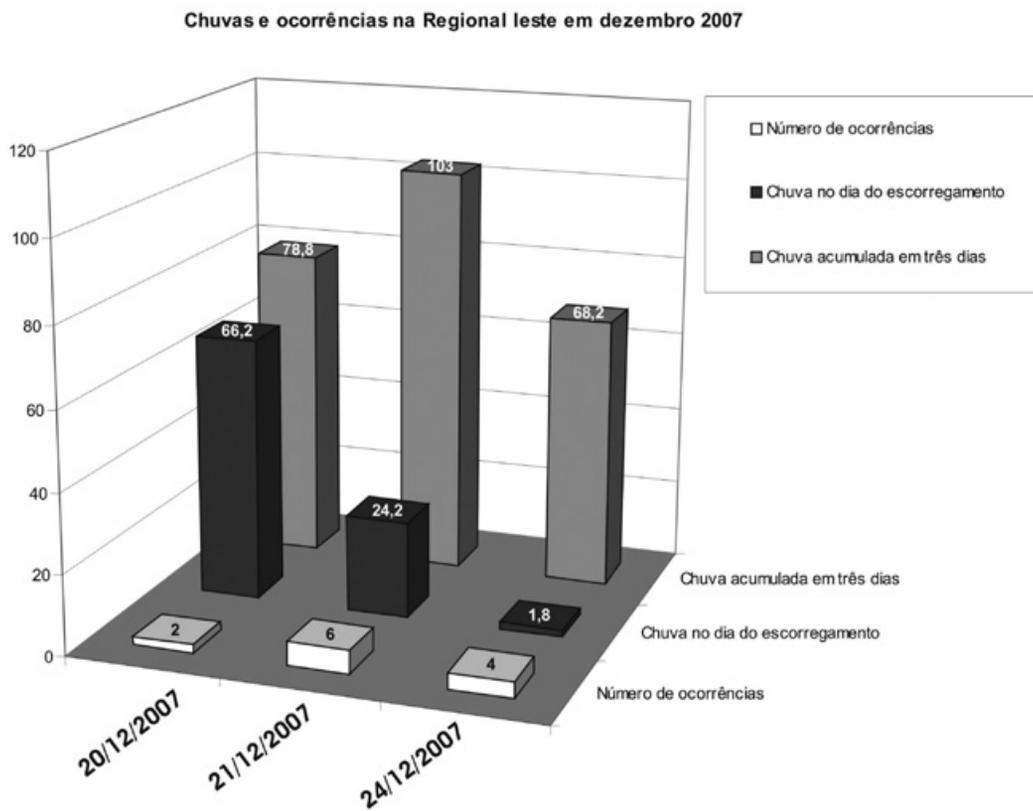
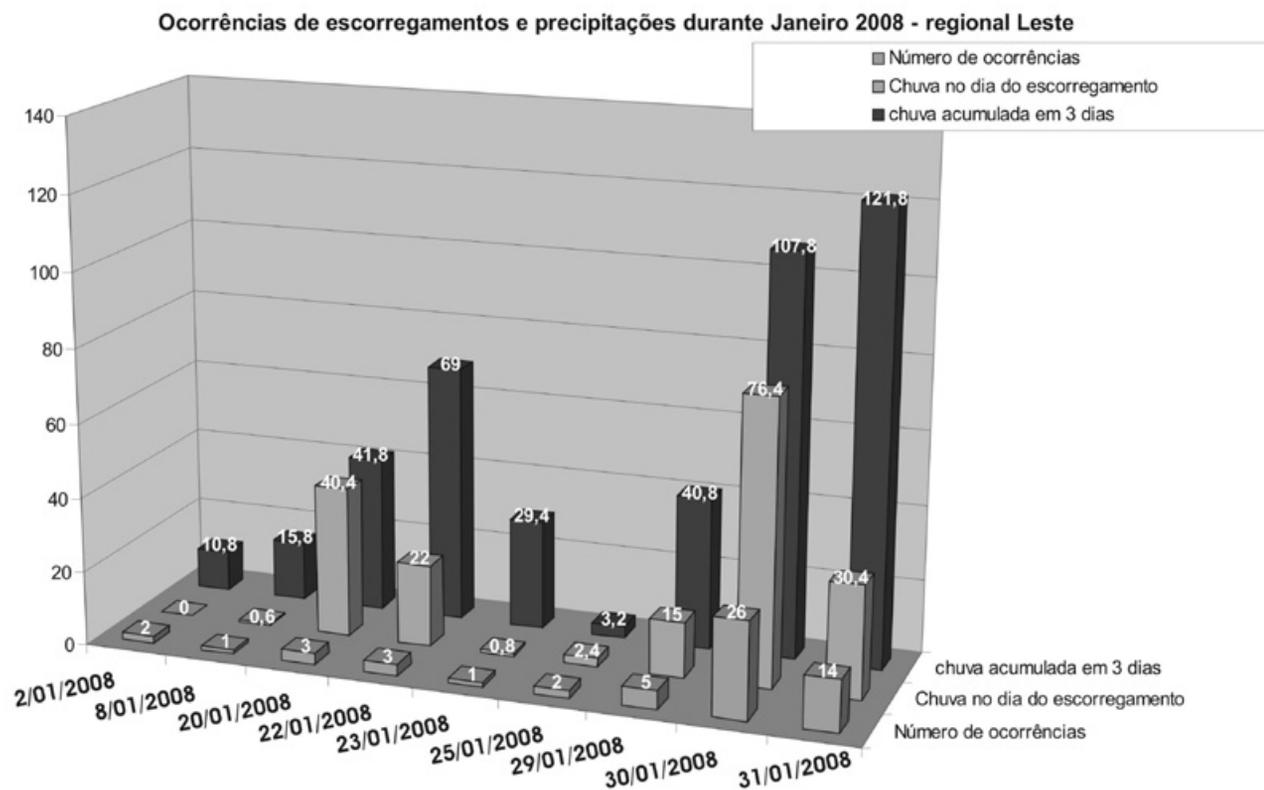


Figura 9 índices pluviométricos e ocorrências de escorregamentos em Janeiro de 2008 na regional Leste.



separadas das ocorrências desencadeadas pelas chuvas. Esta separação é realizada quando fica muito evidente, após a vistoria do local, que a saturação do terreno não se deu pela infiltração das águas pluviais, mas devido ao vazamento de uma tubulação.

Conclusões

Nos períodos chuvosos analisados houve poucos eventos de chuva fina e prolongada e vários eventos com chuvas excepcionais e de grande intensidade. A compreensão da dinâmica atmosférica é de suma importância para a previsão climática, principalmente sobre a estação chuvosa, período do ano em que ocorrem as maiores calamidades públicas.

Em Novembro de 2006 entre os dias 29 a 31/11, choveu 72% da precipitação esperada para todo o mês. Nesta data ocorreram 73% dos movimentos de massa de todo o período chuvoso 2006/2007. Fica evidente que numerosas ocorrências de escorregamento estão associadas, predominantemente, a eventos de chuva excepcional. Chuvas intensas acumuladas por três dias já são desencadeadoras de escorregamentos, entretanto, todos os dias com mais de 6 ocorrências de processos também

Figura 10 Pluviosidade entre os dias 28 a 31/01 de Janeiro de 2008 na regional Leste

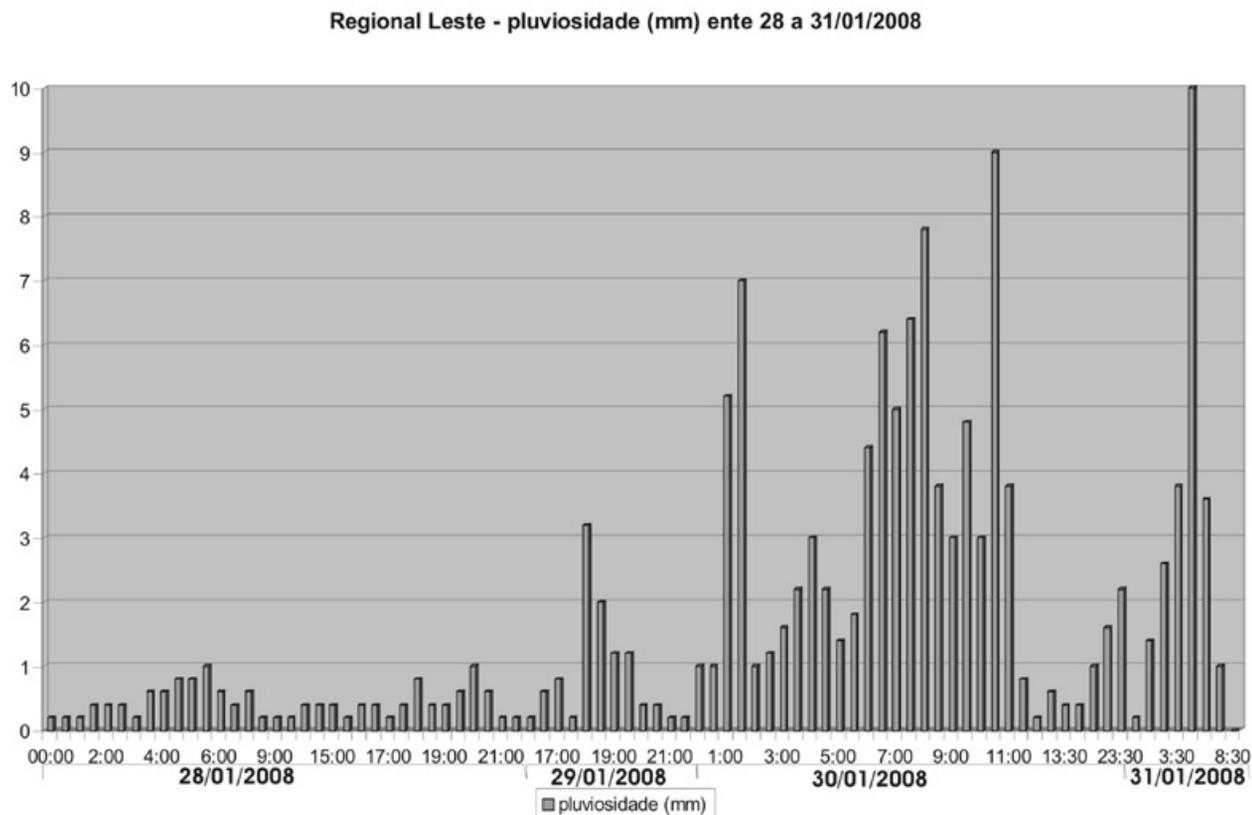
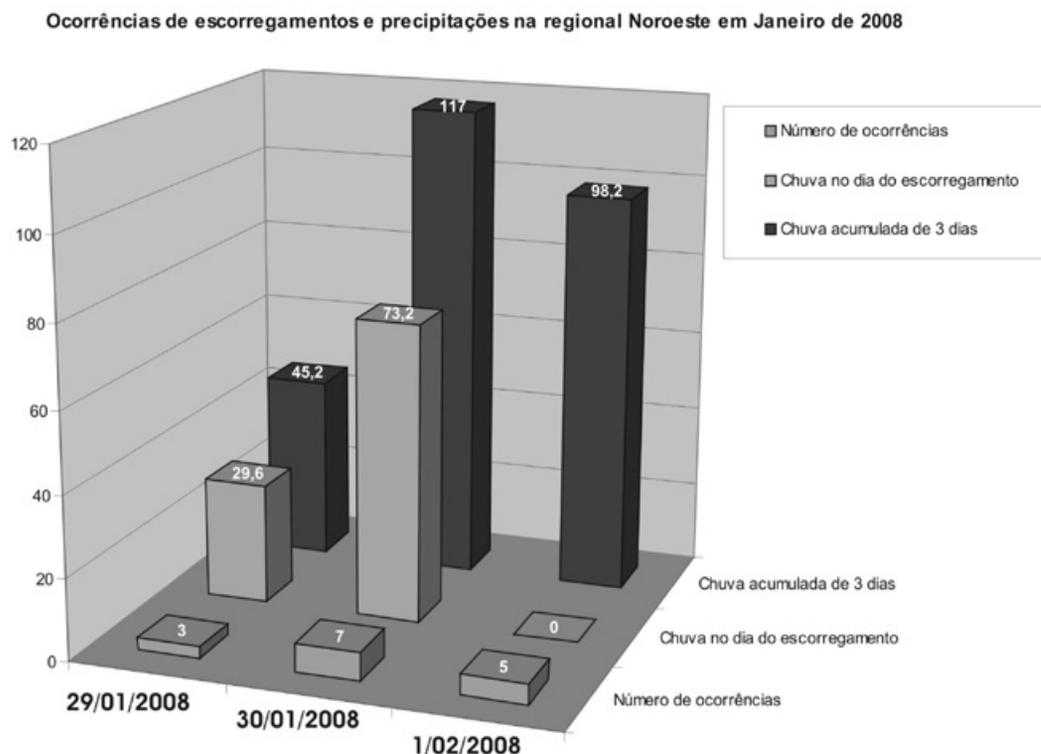


Figura 11 Ocorrências de escorregamentos e índices pluviométricos entre os dias 29 a 01/02/2008 na regional Noroeste



- As características geológicas e geotécnicas dos solos e rochas da área do município são importantes para a determinação da susceptibilidade aos movimentos de massa. Pelo total de ocorrências nos dois períodos analisados as regionais Centro-sul e Leste, caracterizadas por terrenos com filitos alterados e depósitos superficiais como tálus e aterro são mais susceptíveis a escorregamentos. Os solos residuais de gnaiss e horizontes de solo do tipo A e B apresentam coesão aparente (sucção) mais elevada tornando-os pouco mais resistentes (Nogueira *et al.* 2007).
- No período chuvoso de 2006/2007 os maiores índices pluviométricos foram das regionais Pampulha e Centro – Sul e os menores índices foram das regionais Venda Nova e Norte. No período de 2007/2008 os maiores índices pluviométricos ocorreram nas regionais Centro - sul e Leste e os menores índices, novamente, nas regionais Venda Nova e Norte. As diferenças entre os índices pluviométricos de região para região não são decisivas para a determinação das áreas mais susceptíveis a escorregamentos, pois, as áreas com menores índices também alcançaram os valores de precipitação considerados suficientes para o desencadeamento de

movimentos de massa. Entretanto, foi evidenciado que a intensidade de chuva é bastante variada entre uma regional e outra em um mesmo intervalo de tempo e, assim, a leitura em tempo real dos pluviógrafos mostra-se importante para a decisão do momento de atuação da defesa civil ou intervenções da equipe da URBEL em cada área de risco.

Os períodos chuvosos de 2008/2009 e 2009/2010 estão sendo analisados segundo os mesmos critérios de análise apresentados neste artigo. Com o sistema de pluviógrafos instalados em cada regional os próximos períodos chuvosos serão monitorados o que tornará possível o estabelecimento correto dos limites de chuvas diárias e acumuladas que desencadeiam escorregamentos em Belo Horizonte, facilitando, com isso, a atuação da defesa civil, os programas de redução e prevenção de riscos da URBEL/ PBH.

Referências

- ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17-22, dez. 1998.
- ABREU, M. L., MOREIRA, A. A. M., LUCIO P. S., TOSCANO, E. M. M. 1998. Avaliação Estatística do Comportamento Temporal de Variáveis Climatológicas de Belo Horizonte - MG (Brasil). In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília, 1998. *Anais - CD-ROM*.
- ALMEIDA, M. C. J., NAKAZAWA, 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, 1993. *Anais*, 2: 129 – 133.
- ANJOS, C. A. M., CERRI, L. E. S., GANDOLFI, N. 1997. Situações de risco e medidas de prevenção de acidentes em encostas ocupadas na cidade de Maceió (AL), Brasil. In: Pan am. Symp. Of Landslides & Braz. Conf. on Slope Stability, 2 PSL/ COBRAE, Rio de Janeiro, 1997. *Proceedings*, II: 773 – 782.
- AUGUSTO FILHO, O. 1995. Escorregamento em encostas naturais e ocupadas: Análise e controle. In: O, Y., BITAR (ED.) *Curso de Geologia Ambiental*. 1995. São Paulo, ABGE/IPT, 77-100.
- AUGUSTO FILHO, O. 2001. Cartas de risco de escorregamentos quantificadas em ambiente de sig: um ensaio de aplicação em Caraguatatuba (SP), *Tese de doutorado*, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, UNESP, Brasil. *Ano de Obtenção*: 2001. 200p.
- CAJAZEIRO, J. M. D. ; PARIZZI, M. G. ; NOGUEIRA, C. A. ; ABREU, M. L. DE ; VIANNA, C. S. Chuvas e escorregamentos em Belo Horizonte. In: 2 SIBRADEN Simpósio Brasileiro de desastres naturais e tecnológicos, 2007, Santos. *Anais do 2 SIBRADEN*. São Paulo : ABGE, 2007. p. 1-12.
- CAJAZEIRO, J. M. D. 2007. Correlação de chuvas e escorregamentos em Belo Horizonte. *Relatório de Bolsa de Iniciação de Pesquisa* –FAPEMIG, 2007, 80 p.

- CASTRO, J. M. G. 2006. *Pluviosidade e Movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto*. Dissertação (mestrado em Engenharia civil) – Universidade Federal de Ouro Preto. 2006, 100 p.
- ELBACHÁ, A. T., CAMPOS, L. E. P., BAHIA, R. F. C. 1992. Tentativa de correlação entre precipitação e deslizamentos na cidade de Salvador. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, 1ª COBRAE, Rio de Janeiro. 1992, *Anais*, II:647 – 673.
- FEIJÓ, R. L., PAES, N. M., D'ORSI, R. N. 2001. Chuvas e movimentos de massa no município do Rio de Janeiro. In: Conferência Brasileira sobre Estabilidade de Encostas, III COBRAE, Rio de Janeiro, 2001, *Anais*, 1: 223 – 230.
- FUNDAÇÃO INSTITUTO DE GEOTÉCNICA DO MUNICÍPIO DO RIO DE JANEIRO (RJ). *Manual técnico de encostas*. 2. ed. Rio de Janeiro: GEORIO, 2000.
- GUIDICINI, G., IWASA, O. Y. 1976. *Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido*. São Paulo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT. 1976. 48p. (Publicação nº1080).
- GUSMÃO FILHO, J. A. 1997. Encostas Urbanas: Aspectos ambientais, Sociais e Políticos. In: Pan-American Symposium of Landslides, 2ª COBRAE, 1997. Rio de Janeiro, *Anais*, 3: 315 – 331.
- INFANTI JR., N., FILHO, F. N. 1998. Processos de dinâmica Superficial - In: A. M. S. OLIVEIRA & S. N. A BRITO (ed.) *Geologia de Engenharia*. São Paulo, ABGE, 1998, 131 – 152
- LUCAS, T. P. B.; ABREU, M. L. Caracterização climática dos padrões de ventos associados a eventos extremos de precipitação em Belo Horizonte - MG. *Cadernos de Geografia*, Belo Horizonte, v. 14, n. 23, p. 135-152, 2004.
- LUCAS, T. P. B. *Chuvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 2007. 158 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG. 2007.
- MOREIRA, J. L. B. Universidade Federal de Minas Gerais. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno* [manuscrito]. 2002. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- NIMER, E.; IBGE. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1979. 421p.
- NOGUEIRA, C. A. ; PARIZZI, M. G. ; CAJAZEIRO, J. M. D. ; ABREU, M. L. DE ; VIANNA, C. S. O. Uso de Tensiómetros para monitoramento de áreas de risco em Belo Horizonte. In: 2 SIBRADEN Simpósio Brasileiro de desastres naturais e tecnológicos, 2007, Santos. *Anais do 2 SIBRADEN*. São Paulo : ABGE, 2007. p. 1-12.
- PARIZZI, M. G. 2004. *Condicionantes e mecanismos de ruptura em taludes da região Metropolitana de Belo Horizonte, MG*. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Ouro Preto, 2004. 213 pp.
- REICHARDT, K. 1985. *Processos de transferência no Sistema Solo- Planta- Atmosfera*. 4 ed. Campinas: Fundação Cargill, 1985. 445p.
- REIS, R.J., SIMÕES, T.K., 2007. MG Tempo – PUC Minas: Período chuvoso em Belo Horizonte 2006 / 2007. *Relatório do Convênio MG - Tempo PUC Minas/PBH*, 34p.
- SANTORO, J.; MENDES, R.M.; PRESSINOTI, M.M.N.; MANOEL, G.R.; 2010. Correlação entre chuvas e deslizamentos ocorridos durante a operação do plano preventivo de defesa civil em São Paulo, SP. In: *Anais do 7 Simpósio de Cartografia Geotécnica e Geoambiental – 7SBCCG*, cd ROM, Agosto, Maringá, Pr. ABGE, UEM, 2010. p 1- 14.
- SANTOS, A. R.; 2002. *Geologia de engenharia: conceitos, método e prática*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia ambiental; Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. São Paulo: ABGE/IPT, 2002. 222p.