

# O ESCOAMENTO SUPERFICIAL COMO CONDICIONANTE DE INUNDAÇÕES EM BELO HORIZONTE, MG: ESTUDO DE CASO DA SUB-BACIA CÓRREGO DO LEITÃO, BACIA DO RIBEIRÃO ARRUDAS

Patrícia Elizamma REIS <sup>1</sup>, Maria Giovana PARIZZI <sup>2</sup>,  
Danilo Marques de MAGALHÃES <sup>3</sup>, Ana Clara Mourão MOURA <sup>4</sup>

- (1) Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Campus da UFMG / IGC, sala 2045 – Pampulha. CEP 31270-901. Belo Horizonte, MG.  
Endereço eletrônico: patyelizamma@yahoo.com.br
- (2) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Campus da UFMG / IGC, sala 2045 – Pampulha. CEP 31270-901. Belo Horizonte, MG.  
Endereço eletrônico: mparizzi@ufmg.br
- (3) Pós-graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Campus da UFMG / IGC, sala 2045 – Pampulha. CEP 31270-901. Belo Horizonte, MG.  
Endereço eletrônico: danzetrintade@yahoo.com.br
- (4) Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. Rua Paraíba, 697 - sala 319 – Funcionários. CEP 30130-140. Belo Horizonte, MG.  
Endereço eletrônico: anaclaramoura@yahoo.com

Introdução  
Área de Estudo  
Bases Conceituais  
Procedimentos Metodológicos  
    Visitas de Campo  
    Avaliação das Condicionantes Físicas de Formação de Enxurradas  
    Localização das Áreas de Inundações e Áreas Suscetíveis à Formação de Enxurradas  
    Correlação Entre Inundação, Precipitações e Suscetibilidade à Formação de Enxurradas  
Resultados e Discussões  
    Caracterização da Bacia do Córrego do Leitão  
        Declividade  
        Curvatura  
        Impermeabilização do Solo  
    Mapa Final de Suscetibilidade À Formação de Enxurradas – Cruzamento dos Mapas Temáticos  
    Avaliação das Taxas de Precipitação de Dias de Ocorrência de Eventos Hidrológicos  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** – Inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas no município de Belo Horizonte são frequentes. Esses processos são condicionados por vários fatores, tais como a intensidade do escoamento superficial, a declividade e curvatura dos terrenos, a geologia e a impermeabilização do solo. Nos últimos anos, o município tem sofrido com a ocorrência de desastres relacionados a inundações. As enxurradas são fortes condicionantes para as inundações devido ao fato de que a cidade se localiza em região com relevo acidentado e ondulado e bastante impermeabilizado. Recentemente, houve duas mortes devido a alagamento gerado por enxurrada na área urbana. Este artigo objetiva aplicar métodos para avaliação da susceptibilidade à formação de enxurradas em área urbana. A área de estudo foi a bacia do Córrego do Leitão, no município de Belo Horizonte. O Método usado foi a Análise de Multicritérios que permitiu a elaboração do mapa de susceptibilidade à enxurradas. Os resultados mostram que as áreas que apresentaram baixa susceptibilidade à formação de enxurradas coincidem com áreas verdes. Locais de maior susceptibilidade, com maior concavidade, inclinação e impermeabilizadas, foram correlacionados aos pontos com maior frequência de inundações. Os mapas de áreas de inundação, quando analisados de maneira isolada, não retratam seus condicionantes, apenas localizam as áreas inundadas. Os mapas de susceptibilidade à formação de enxurradas auxiliam na compreensão da causa do fenômeno inundação e permitem o planejamento de intervenções mitigadoras por meio da atenuação de seus condicionantes.  
**Palavras-chave:** inundação, susceptibilidade a enxurradas, mapa, Belo Horizonte.

**ABSTRACT** – P.E. Reis, M.G. Parizzi, D.M. de Magalhães, A.C.M. Moura - *Runoff as a conditionality for floods in Belo Horizonte, MG: case study of sub-basin Córrego do Leitão, basin of the Ribeirão Arrudas.* Floods, rising of river flow, flooding and runoff in the city of Belo Horizonte are frequent. There are numerous factors that cause floods in urban areas such as the intensity of runoff, topography, geology and soil sealing. Over the last years the city has suffered dramatically with the occurrence of disasters related to floods. Floods are triggered by intense runoff as the city is located in a region of hilly, undulating and with great impermeable areas. Recently two deaths occurred due to flooding caused by sudden runoff. This article aims to employ methods to evaluate the susceptibility to formation of runoff in urban area. The study area was the basin of Leitão creek, belonging to the basin of Arrudas river, Belo Horizonte, in Minas

Gerais. The method used was Analysis of Multicriteria that allowed the preparation of the map of susceptibility to formation of runoff. Analyzing the final map has been observed that areas that were less susceptible to the formation of runoff in most cases coincided with green areas. Places of greater susceptibility, with greater concavity, slope and impermeable, were correlated with more frequent flooding. The maps of areas of flood risk when analyzed separately, did not show the causes of the process, only locate the flooded areas. Therefore, the maps of susceptibility to the formation of runoff help to understand the phenomena of floods and allow better planning of interventions that aims to reduce flooding by reducing your triggers.

**Keywords:** flood, runoff susceptibility, map, Belo Horizonte.

## INTRODUÇÃO

Inundações e enchentes são fenômenos naturais que ocorrem com frequência nos cursos d'água, geralmente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. Estes eventos naturais têm sido intensificados, principalmente nas áreas urbanas, por alterações antrópicas. Desastres relacionados às enchentes e inundações são muito significativos em âmbito mundial, pois, segundo Cristo (2002), muitas cidades desenvolveram suas malhas urbanas ao longo dos leitos dos rios colocando em risco populações que periodicamente, em consequência de chuvas intensas e concentradas, sofrem problemas com as inundações e/ou com acúmulo de águas pluviais nas vias urbanas. O município de Belo Horizonte tem sofrido drasticamente com a ocorrência de desastres relacionados a inundações. As enxurradas são consideradas fortes condicionantes a esses processos, tendo em vista que a cidade se localiza em região de relevo acidentado e ondulado e bastante impermeabilizado pela urbanização.

De acordo com Amaral & Ribeiro (2009), a magnitude e frequência dos processos hidrológicos ocorrem em função da intensidade, quantidade e distribuição da precipitação, da taxa de infiltração de

água no solo, do grau de saturação do solo e das características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem. Os estudos de probabilidade de ocorrência de enchentes e inundações devem ser analisados pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos de uma bacia.

Com a finalidade de reconhecer os condicionantes de inundações na área da sub-bacia do córrego Leitão em Belo Horizonte, o objetivo do presente trabalho é analisar a susceptibilidade ao escoamento superficial intenso (enxurradas) baseando-se no critério de análise integrada das características físicas e de ocupação da bacia.

Esta avaliação combinada de dados foi realizada a partir da aplicação de modelos de análise espacial, com o emprego da análise de multicritérios em ambiente de sistema de informação geográfica.

O conhecimento preciso das áreas urbanas sujeitas às inundações facilita o estabelecimento de alternativas e ações que visem minimizar os efeitos negativos associados com as enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas, uma vez que é difícil a eliminação completa do fenômeno (Eckhardt et al., 2008).

## ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Córrego do Leitão, com área de 10,62 km<sup>2</sup>, pertence a bacia do ribeirão Arrudas, município de Belo Horizonte, MG. Está localizada na porção central, dentro da regional Centro-Sul de Belo Horizonte (Figura 1).

A área da bacia apresenta altitude mínima de 845 m e máxima de 1155 m (Figura 2) e sua rede de drenagem encontra-se, de montante a jusante, entre as altitudes de 1117 m a 845 m. Caracteriza-se por apresentar, ao longo do seu canal principal, quatro pontos de estreitamento do relevo (círculos azuis) que contribuem para a retenção de água nestes locais.

A bacia do Córrego do Leitão está inserida em grande parte sobre as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero e abrangendo, no sentido de norte a sul, parte do Complexo Belo Horizonte, do Grupo Sabará e do Supergrupo Minas (Figura 3). O Supergrupo Minas, representado na área pelos Grupos

Itabira e Piracicaba, e o Grupo Sabará fazem parte de uma sucessão de rochas paleoproterozóicas metassedimentares (subordinadamente metavulcânicas) conforme Silva et al. (1995).

O Grupo Itabira é representado na bacia pela Formação Gandarela (filitos dolomíticos e dolomitos), enquanto o Grupo Piracicaba abrange as Formações Cercadinho (quartzitos alternados com filitos prateados), Fecho do Funil (filitos) e Barreiro (filitos carbonosos) (Figura 3). Estas formações caracterizam a cabeceira da bacia em estudo.

Em seguida ocorre o Grupo Sabará (xistos e filitos) de maior expressão (49%) dentro da bacia. Por último o Complexo BH, com predomínio do embasamento gnáissico de idade arqueana, também de expressão significativa (31%), que se localiza na desembocadura do córrego do Leitão com o ribeirão Arrudas.

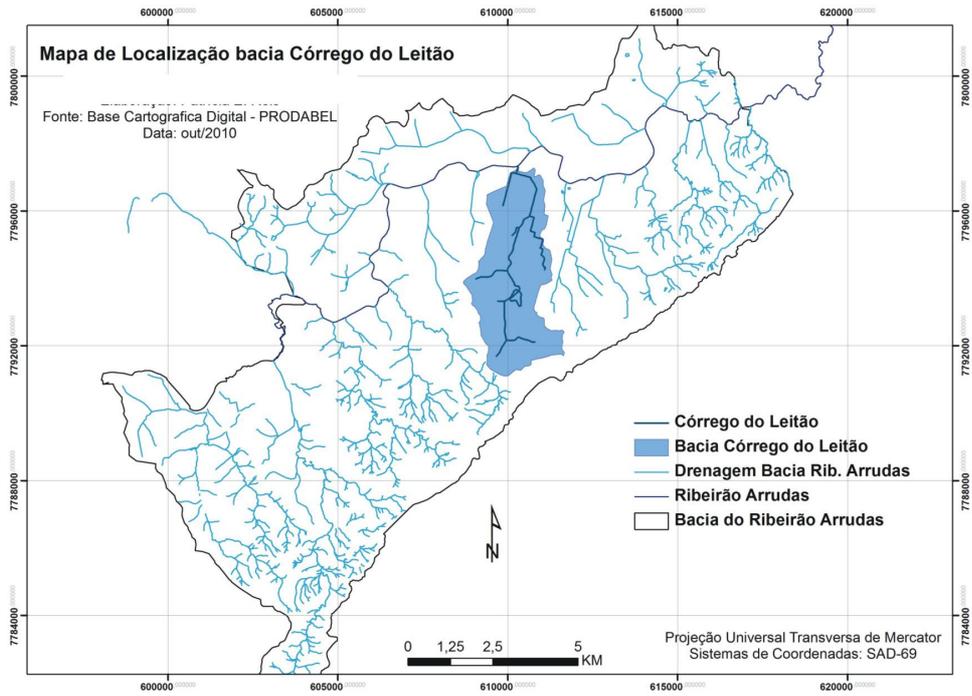


FIGURA 1. Mapa de Localização da bacia Córrego do Leite.

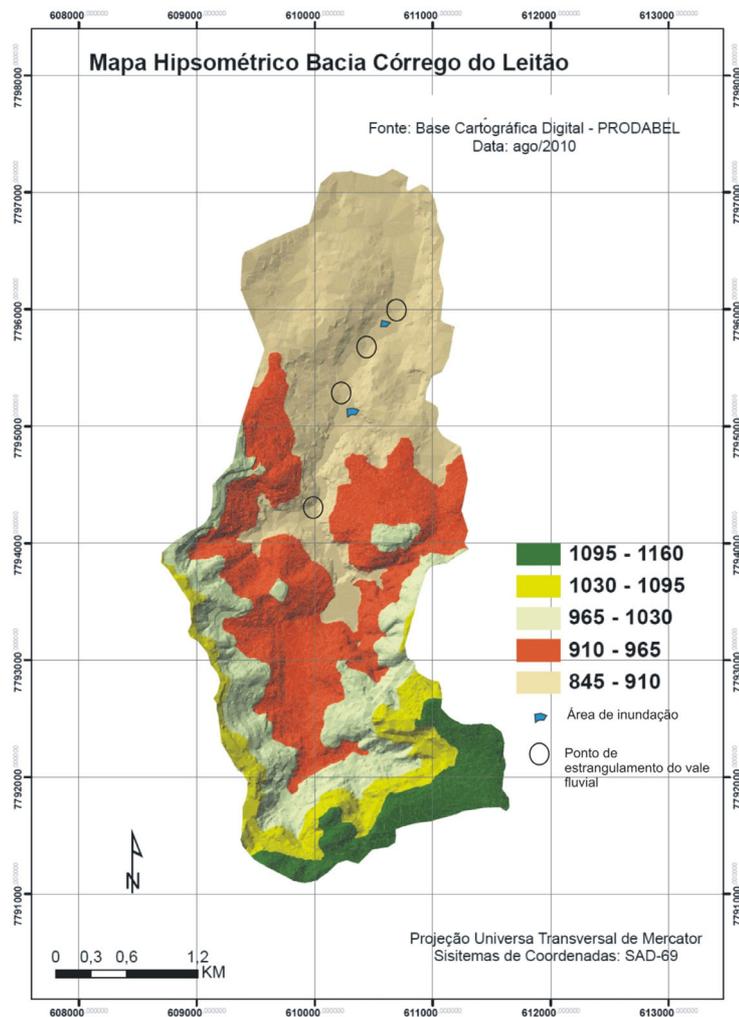


FIGURA 2. Mapa altimétrico bacia Córrego do Leite.

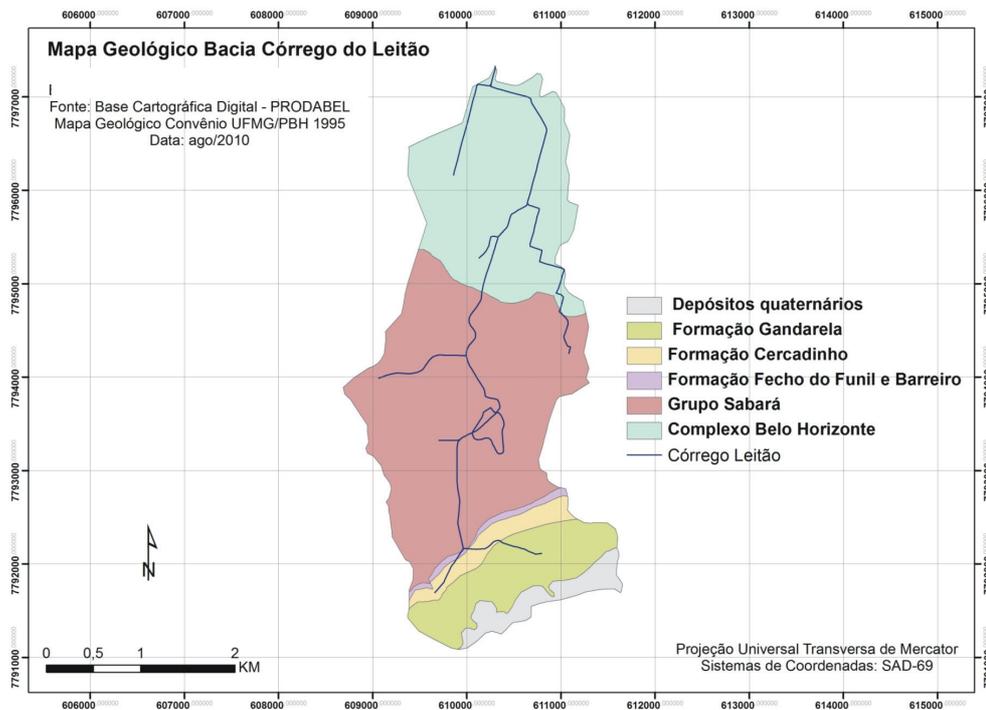


FIGURA 3. Mapa Geológico da bacia Córrego do Leitão (modificada de Silva et al., 1995 e Tuler et al., 2007).

## BASES CONCEITUAIS

Segundo Amaral & Ribeiro (2009), a probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e de alagamento são analisadas pela combinação entre os condicionantes naturais e antrópicos.

Entre os condicionantes naturais destacam-se:

- a) formas do relevo;
- b) características da rede de drenagem da bacia hidrográfica;
- c) intensidade, quantidade, distribuição e frequência das chuvas;
- d) características do solo e o teor de umidade;
- e) presença ou ausência da cobertura vegetal.

O estudo desses condicionantes naturais permite compreender a dinâmica do escoamento da água nas bacias hidrográficas (vazão), de acordo com o regime de chuvas conhecido. A planície de inundação, também denominada várzea, é uma área que periodicamente será atingida pelo transbordamento dos cursos d'água, constituindo, portanto, uma área inadequada à ocupação. De acordo com as características do vale é possível prever a velocidade do processo de inundação. Os vales encaixados (em V) e vertentes com altas declividades predispoem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas. Os vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais predispoem inundações mais lentas (graduais), devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno.

Além disso, como um elemento da superfície terrestre inclinado em relação à horizontal, as vertentes apresentam um gradiente e uma orientação no espaço, e, dessa forma, podem ser classificadas de acordo com sua curvatura que é dada pela proporção em que varia a inclinação da tangente sobre dois pontos de um determinado arco (Anjos, 2008). A classificação das vertentes é feita entre retilíneas, côncavas ou convexas e é uma variável que auxilia a tomada de decisões nessas áreas, principalmente por estar relacionada aos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície (Anjos, 2008). Segundo Araújo (2006), as curvaturas representam uma caracterização das formas do terreno, às quais se associam propriedades hidrológicas e de transporte de sólidos, diretamente, e pedológicas, ecológicas, além de uma série de outros aspectos, indiretamente.

Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nas vertentes e vales. A cobertura vegetal também é um fator relevante, visto que a presença de vegetação auxilia na retenção de água no solo e diminui a velocidade do escoamento superficial, minimizando as taxas de erosão.

Entre os condicionantes antrópicos para as inundações, Amaral & Ribeiro (2009) citam:

- a) uso e ocupação irregular nas planícies e margens de cursos d'água;

- b) disposição irregular de lixo nas proximidades dos cursos d'água;
- c) alterações nas características da bacia hidrográfica e dos cursos d'água (vazão, retificação e canalização de cursos d'água, impermeabilização do solo, entre outras).

As interferências e intervenções marcantes do ser humano nas áreas urbanas produzem impactos diretos tanto para o próprio local como para a população. Tais impactos, segundo Moretti (2004, segundo Silveira, 2007), são o aumento da vazão, em decorrência da impermeabilização; redução da vazão dos cursos d'água nos períodos de estiagem; aumento da erosão; aumento da quantidade de sedimentos presentes na água; presença de lixo diretamente nos cursos d'água ou carreado pelos sistemas de captação das águas pluviais; e presença de esgotos, oriundos das redes de coleta e de lançamentos irregulares nos sistemas de drenagem de águas pluviais. Dessa maneira, as ocorrências de enchentes, inundações e alagamentos se manifestam mais frequentemente e com maiores consequências.

De acordo com Ministério das Cidades/IPT (2007) os conceitos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas se diferem e são usualmente empregados em áreas urbanas.

As enchentes são definidas como um processo natural que ocorrem nos cursos de água. Consiste na elevação temporária do nível d'água em um canal de drenagem (rio, córrego, riacho, arroio, ribeirão) devido ao aumento da vazão ou descarga (Santos, 2007; Carvalho et al., 2007).

A inundações ocorre quando a enchente atinge a cota acima do nível máximo da calha principal do rio e assim ocorre o extravasamento das águas do canal de drenagem para as áreas marginais - planície de inundação, várzea ou leito maior do rio (Carvalho et al., 2007).

Tucci & Bertoni (2003) definem dois tipos de inundações que podem ocorrer isoladamente ou de forma integrada em áreas urbanas:

As **inundações ribeirinhas** são processos naturais e ocorrem em geral em bacias de grande e médio porte, onde a declividade é baixa e a seção de escoamento é pequena. Uma precipitação intensa que chega simultaneamente ao rio é superior à sua capacidade de drenagem que resulta em inundações nas áreas ribeirinhas. Os problemas gerados por esse tipo de inundações dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual as mesmas ocorrem.

As **inundações devido à urbanização** são processos influenciados por diversas atividades humanas realizadas nas áreas urbanas. Ocorrem em bacias pequenas com exceção para as grandes cidades. Esse tipo de inundações acontece à medida que a população

impermeabiliza o solo, o que acelera o escoamento, ou seja, aumenta a quantidade de água que passa nos condutos e canais ao mesmo tempo e chega ao sistema de drenagem. Essa quantidade de água no sistema de drenagem elevada produz inundações mais frequentes do que as que existiam quando a superfície era permeável e o escoamento se dava pelo ravinamento natural.

Os alagamentos são definidos como acúmulo momentâneo de águas em uma dada área por problemas no sistema de drenagem, podendo ou não ter relação com processos de natureza fluvial (Ministério das Cidades/IPT, 2007). Nos alagamentos o extravasamento das águas depende muito mais de uma drenagem deficiente, que dificulta a vazão das águas acumuladas, do que das precipitações locais (Castro et al., 2003).

O fenômeno de alagamento também está relacionado com a redução da infiltração natural nos solos urbanos, a qual é provocada por: compactação e impermeabilização do solo; pavimentação de ruas e construção de calçadas, reduzindo a superfície de infiltração; construção adensada de edificações, que contribuem para reduzir o solo exposto e concentrar o escoamento das águas; desmatamento de encostas e assoreamento dos rios que se desenvolvem no espaço urbano; acumulação de detritos em galerias pluviais, canais de drenagem e cursos d'água; insuficiência da rede de galerias pluviais (Ministério das Cidades/IPT, 2007).

É comum a combinação dos dois fenômenos - enxurrada e alagamento - em áreas urbanas acidentadas, como ocorre no Rio de Janeiro, Belo Horizonte e em cidades serranas (Castro et al., 2003).

As enxurradas são provocadas por chuvas intensas e concentradas, em regiões de relevo acidentado, caracterizando-se por produzirem súbitas e violentas elevações dos caudais, os quais se escoam de forma rápida e intensa. Assim, de acordo com Amaral & Ribeiro (2009), enxurradas são definidas como o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais. É comum a ocorrência de enxurradas ao longo de vias implantadas sobre antigos cursos d'água com alto gradiente hidráulico e em terrenos com alta declividade natural.

Além disso, as enxurradas podem ser intensificadas pelo processo de urbanização da cidade, uma vez que provoca modificação no ciclo hidrológico, cujos efeitos influenciarão na infiltração e velocidade do escoamento superficial. O aumento de áreas impermeáveis pelas construções e pavimentações nas áreas urbanas sem um manejo das águas pluviais gera um aumento na frequência do escoamento superficial (Bertoni, 1998; Belinaso, 2002 segundo Silveira, 2007).

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

### VISITAS DE CAMPO

Foram realizados quatro trabalhos de campo na bacia do Ribeirão Arrudas e algumas sub-bacias para reconhecimento dos locais susceptíveis a enchentes e inundações objetivando a escolha de uma sub-bacia para o desenvolvimento deste trabalho.

Foram visitados pontos desde a Zona Leste à Zona Oeste da bacia, onde foram reconhecidos locais em que houve intensos eventos de enchentes e inundações que causaram danos e vítimas durante os três últimos períodos chuvosos no município. Dessa maneira, definiu-se como área de estudo a sub-bacia do córrego do Leitão, a qual apresenta recorrência de eventos hidrológicos durante o período chuvoso. Além disso, a sub-bacia apresenta a barragem de Santa Lúcia que foi construída com a finalidade de contenção da água do escoamento superficial, visto que a região tem histórico de graves acidentes relacionados aos processos hidrológicos. A barragem por muitos anos conteve com sucesso as enxurradas e ajudou a evitar acidentes, entretanto, há cerca de cinco anos os processos voltaram a ocorrer assim como graves acidentes. A ocupação da sub-bacia ocorreu ao longo de toda a sua extensão. De um modo geral, a ocupação constitui-se por bairros formais de padrão construtivo médio a alto, com exceção do lado direito da barragem onde existe uma densa ocupação não formal conhecida por Aglomerado Santa Lúcia. O canal principal do córrego Leitão encontra-se canalizado e coberto por ruas e avenidas.

### AValiação das Condicionantes Físicas de Formação de Enxurradas na Bacia do Córrego do Leitão

Definida a área de estudo, as condicionantes físicas da bacia que propiciam a formação de enxurradas foram avaliadas com a finalidade de se elaborar o mapa de susceptibilidade a formação de enxurradas ou escoamento superficial. O critério adotado foi a análise de Multicritérios a partir de ferramenta SIG (Sistema de Informação Geográfica). O Software Arc Gis 9.3 foi usado para a elaboração dos mapas e análise multicriterial.

A Análise de Multicritérios baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação (valoração) e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final (Moura, 2007).

No presente estudo, utilizou três mapas temáticos – declividade, curvatura e de áreas impermeáveis e áreas verdes –, como mapas bases para a confecção

do mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas na bacia do córrego Leitão. Para a elaboração do cruzamento, é necessária a atribuição de pesos para os fatores (ou temas) analisados, sendo que, no cálculo efetuado pelo *software*, a soma desses fatores deve resultar em 100%. Os três mapas temáticos foram elaborados e seus temas principais receberam pesos. Cada tema principal respondeu por 33,3% e cada classe destes mapas, recebeu cada uma, notas que variavam de 0 a 10. Quanto mais baixa a nota menor a susceptibilidade a formação de enxurradas e quanto maior a nota maior a susceptibilidade a formação de enxurradas.

Os mapas bases foram confeccionados utilizando o Arc Map – extensão Arc Gis 9.3. Para o Mapa de Declividade usou a ferramenta *3D Analyst – Slope*, o mapa de curvatura utilizou *Curvature* presente em *Arctoolbox-Raster Surface*. O mapa de áreas impermeáveis e áreas verdes foi construído a partir de um mosaico de imagens do Google Earth, o qual foi vetorizado em áreas impermeáveis e áreas verdes, as duas separadamente, depois unidas usando a ferramenta *Union* do *Arctoolbox*. Foram consideradas como áreas impermeáveis as áreas urbanizadas. Foram considerados os parques, praças arborizadas e áreas de preservação como áreas verdes.

Logo após a confecção dos mapas, os mesmos foram reclassificados adotando valores 0 a 10 de acordo com a importância para a formação de enxurradas, conforme a Tabela 1. Para reclassificá-los utilizou-se a ferramenta *Reclassify* em *Spatial Analyst*.

**TABELA 1.** Características utilizadas para a definição das áreas susceptíveis à formação de enxurradas, suas classes e notas atribuídas a cada classe.

Características	Classes	Notas
Declividade	De 0 – 5%	2
	5 – 10%	4
	10 – 30%	6
	30 – 47%	8
	> 47%	10
Curvatura	Côncavo	< - 0,08
	Plano	- 0,08 – 0,08
	Convexo	> 0,08
Uso e Ocupação do Solo	Áreas Verdes	3,4,5,7
	Áreas Impermeáveis	10

Para a declividade os valores adotados foram de acordo com a descrição de Guimarães (2008) que afirma que um solo de baixa declividade apresenta escoamento com baixa velocidade e, consequentemente, a capacidade de transporte fica limitada à vazão de escoamento. Além disso, as enxurradas ocorrem a partir de chuvas intensas e concentradas e de escoamento rápido e intenso.

As valorações das classes de curvatura foram estabelecidas conforme Stabile & Vieira (2009), que consideraram valores negativos como curvatura côncava, positivos como curvatura convexa e valores próximos de zero como curvaturas retilíneas. Estas valorações também podem ser afirmadas por Moreira & Neto (1998), que descrevem:

- a) quando uma vertente apresenta seus ângulos de declividade constantes tem uma curvatura retilínea;
- b) quando os ângulos aumentam continuamente para baixo tem uma curvatura positiva (convexa);
- c) quando ocorre dos ângulos decrescerem para baixo tem uma curvatura negativa (côncava).

Para as áreas verdes foi considerada a geologia correspondente de cada local e assim feita à valoração para cada uma. A determinação dos valores para cada formação geológica considera suas respectivas características de permeabilidade. Silva et al. (1995) descrevem que no município de Belo Horizonte há dois sistemas de aquíferos, um está nas rochas do embasamento que constituem o Complexo Belo Horizonte e, o outro é encontrado nas rochas metassedimentares do Supergrupo Minas que ocorrem na porção sul do município.

Assim, de acordo com a geologia da bacia do Córrego do Leitão adotou-se valores baixos para as áreas que apresentam boa permeabilidade e valores intermediários a altos para as áreas que apresentam permeabilidade baixa.

Os depósitos quaternários, o Complexo Belo Horizonte, a Fm. Cercadinho e Fm. Fecho do Funil e Barreiro (Grupo Piracicaba) e a Fm. Gandarela (Grupo Itabira) apresentam áreas de melhor permeabilidade dentro da bacia do Córrego do Leitão. Assim, adotaram-se valores entre 3 e 5 para classificação das litologias presentes nas áreas verdes descritas (Tabela 2). Para o grupo Sabará, constituído de xistos e filitos, adotou-se o valor 7, já que representa uma área mais impermeável quando comparada com as demais litologias da bacia. Para as áreas impermeáveis devido à urbanização adotou-se o valor 10.

Como resultado da análise de multicritério tem-se um mapa de susceptibilidade a formação de enxurradas que foi reclassificado de acordo com a Tabela 3 em quatro classes.

**TABELA 2.** Valores adotados para a geologia das áreas verdes.

Geologia (Áreas Verdes)	Valores Atribuídos
Depósitos Quaternários	3
Complexo BH	3
Fm. Cercadinho	4
Fm. Fecho do Funil e Barreiro/Taboões	4
Fm. Gandarela	5
Grupo Sabará	7

**TABELA 3.** Classes de susceptibilidade à formação de enxurradas.

Valores Reclassificados	Classes de Susceptibilidades
1,98 – 4,93	Baixa susceptibilidade
4,93 – 6,26	Média susceptibilidade
6,26 – 7,60	Alta susceptibilidade
7,60 – 9,89	Muito alta susceptibilidade

Além destes, foram elaborados mapas de direção de fluxo e fluxo acumulado. O mapa de direção de fluxo é gerado utilizando-se de um modelo digital de elevação que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo (Alves Sobrinho et al., 2010). O mapa de fluxo acumulado é obtido a partir do arquivo criado de direção do fluxo e permite visualizar as áreas de acúmulo de água dentro da bacia.

### LOCALIZAÇÃO DAS ÁREAS DE INUNDAÇÕES E ÁREAS SUSCEPTÍVEIS À FORMAÇÃO DE ENXURRADAS

Após a elaboração dos mapas temáticos as manchas de inundações da bacia do córrego do Leitão descritas pela Carta de Inundação (SUDECAP/PBH 2009) foram vetorizadas no Arc Gis 9.3 e plotadas nos mesmos mapas. Estas manchas localizam-se nas ruas Joaquim Murinho esquina com a Avenida Prudente de Moraes e entre o cruzamento das Ruas Alvarenga Peixoto, Barbara Heliodora e São Paulo. Nestes logradouros houve alagamentos e inundações com vítimas no período chuvoso 2009/2010.

Foi possível verificar que as áreas de inundação se localizam na direção ou próximas às áreas com muito alta a alta susceptibilidade a formação de enxurradas.

## **CORRELAÇÃO ENTRE INUNDAÇÃO, PRECIPITAÇÕES E SUSCETIBILIDADE À FORMAÇÃO DE ENXURRADAS**

Os eventos recentes de inundações ocorridos nas áreas de manchas de inundação foram descritos a partir de informações adquiridas com a mídia e posteriormente associados aos dados pluviográficos levantados.

Para quantificar essas precipitações, estas foram monitoradas utilizando os pluviógrafos instalados na bacia. Existem 12 pluviógrafos automáticos em Belo Horizonte, cujos dados podem ser adquiridos em tempo real por meio de site eletrônico pertencente a um convênio entre UFMG/IGC (Universidade Federal de Minas Gerais/ Instituto de Geociências) e URBEL / PBH (Cia Urbanizadora de Belo Horizonte/Prefeitura de Belo Horizonte). Dessa maneira, os dados de precipitação dos eventos descritos foram analisados.

O pluviógrafo registra o volume precipitado continuamente no tempo, de onde pode caracterizar a intensidade da chuva e o instante da ocorrência,

representada pela relação entre a altura precipitada em um intervalo de tempo e o próprio intervalo (quantidade por unidade de tempo) (Tucci et al., 1995; Pinheiro, 2007).

Esta correlação também permitiu uma posterior análise sobre as taxas de precipitação associadas à formação de enxurradas bruscas no local. Gráficos de taxas de precipitação foram elaborados para melhor descrição da intensidade e quantidade de chuva no dia da ocorrência.

A bacia em estudo teve três momentos importantes de ocorrência de inundação relatados pela mídia. O primeiro evento descrito ocorreu em 16 de março de 2009, onde um carro foi atingido pela enxurrada matando um cidadão de 86 anos (Bragon, 2009). A segunda ocorrência descrita, no dia 07 de outubro de 2009, atingiu novamente o mesmo local, mas sem relato de vítimas. E por último no dia 15 de janeiro de 2010 (Magalhães, 2010) na esquina de duas ruas com registro de alagamento no local.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **CARACTERIZAÇÃO DA BACIA CÓRREGO LEITÃO**

#### **Declividade**

As cinco classes do mapa base de Declividade resultante foram definidas de acordo De Biasi (1992, segundo Vieira & Oliveira, 2004) (Figura 4).

Vieira & Oliveira (2004) descrevem que a declividade interfere diretamente na velocidade das enxurradas. Assim, quanto maior a declividade maior será a velocidade de escoamento da água. A partir disto foram definidas qualitativamente as classes de susceptibilidade à formação de enxurradas em: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Na cabeceira da bacia, onde predominam as rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, considerada a principal zona de recarga do sistema aquífero local, as áreas de maior formação de enxurradas coincidem com as áreas de maior declividade. Por outro lado, as áreas de menor susceptibilidade à formação de enxurradas coincidem com áreas planas e de boa absorção da água superficial principalmente em áreas de quartzitos do Grupo Piracicaba, aquíferos cársticos e fraturados da Fm. Gandarela e dos Depósitos Quaternários, de acordo com classificação de Silva et al. (1995).

A susceptibilidade alta a muita alta à formação de enxurradas também estão presentes nas áreas do Grupo Sabará (filitos) que caracterizam por apresentar um aquífero com baixa permeabilidade.

A média susceptibilidade a formação de enxurradas é predominante na bacia, estando presente desde

a cabeceira até a foz da área de estudo. Assim, baseando-se apenas pela declividade, o mapa da Figura 4 aponta claramente as áreas mais susceptíveis ao escoamento superficial rápido e assim os pontos de maior vulnerabilidade na área urbana.

As áreas de inundações localizadas nos mapas estão em pontos onde a susceptibilidade à enxurrada é considerada muito baixa, com declividades entre 0-5%. Entretanto, as inundações ocorrem após a drenagem receber o fluxo de enxurradas geradas nas áreas de entorno com maiores declividades.

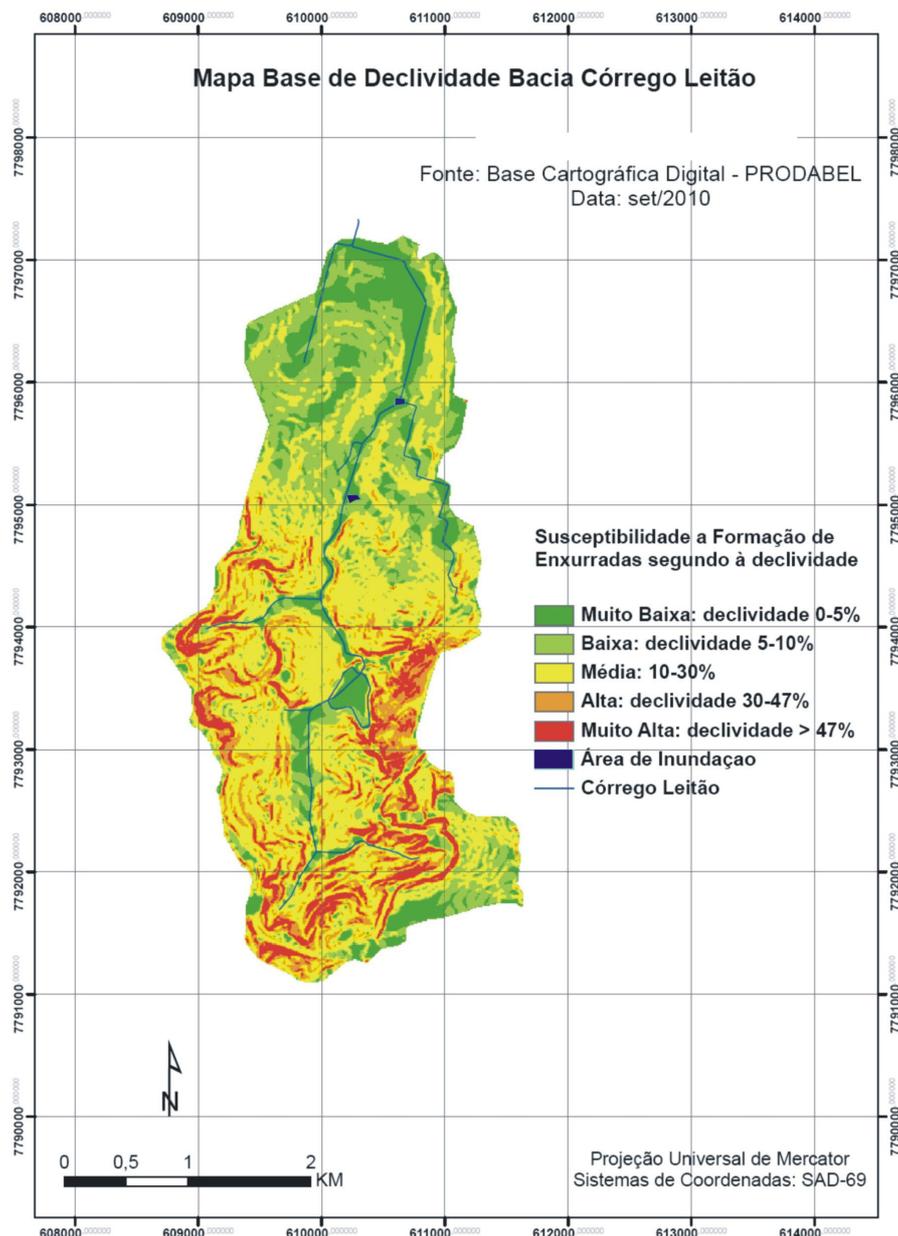
A porção norte da bacia Córrego do Leitão há uma representatividade maior de susceptibilidade baixa à formação de enxurradas (declividade 5-10%). Estas áreas também representam áreas de baixa altimetria dentro da bacia, entre 845 m a 875 m (Figura 2).

#### **Curvatura**

Para a construção do mapa base de Curvatura (Figura 5) foram adotados para uma curvatura côncava valores negativos, para uma curvatura convexa valores positivos, e para curvatura retilínea os valores são próximos de zero, seguindo os procedimentos realizados por Stabile & Vieira (2009).

O mapa base de Curvatura representa as formas geométricas que a vertente da bacia possui e os pontos de susceptibilidade à formação de enxurradas em relação a estas características.

As curvaturas (côncavas, retilíneas e convexas) influenciam nos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da



**FIGURA 4.** Mapa Base de Declividade bacia Córrego do Leitão.

superfície, proporcionados pela gravidade (Valeriano et al., 2007).

Dietrich & Montgomery (1998, segundo Santos & Vieira, 2009) afirmam que formas côncavas são áreas de concentração de água e elevação mais rápida das cargas de pressão durante as chuvas (Reneau & Dietrich, 1987; D'amato Avanzi et al., 2004, segundo Santos & Vieira, 2009). As formas convexas são áreas divergentes, sendo feições mínimas de extrema importância no desenvolvimento do relevo, por distribuir toda a carga de fluxos para as encostas conforme apontam Reneau & Dietrich (1987, segundo Santos & Vieira, 2009).

Na bacia córrego do Leitão as curvaturas retilíneas em sua maioria coincidem com o canal principal do

Córrego Leitão, e aparecem pontualmente em outros locais da bacia. As demais curvaturas, côncava e convexa, encontram-se distribuídas ao longo de toda extensão da bacia (Figura 5).

A distribuição das superfícies côncavas consideradas como de susceptibilidade alta à formação de enxurradas parece coincidir com o sentido de arruamento da área urbana da bacia, ou seja, ora são paralelos ao fluxo de drenagem, principalmente na porção sul e sudoeste, e ora são perpendiculares ao fluxo nas demais áreas da bacia.

Nas proximidades das duas áreas de inundação identificou-se um predomínio da curvatura côncava, ou seja, apresentam maior susceptibilidade à formação de enxurradas.

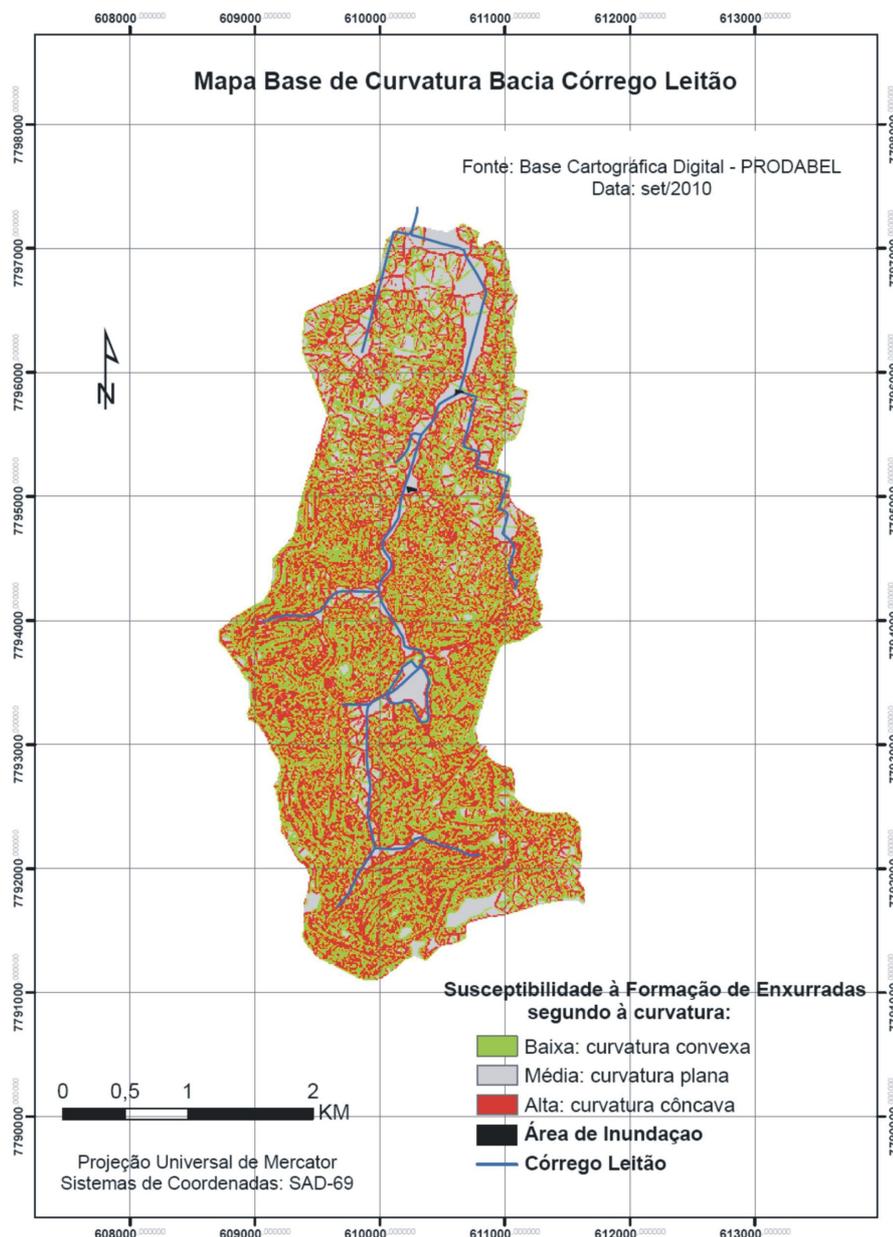


FIGURA 5. Mapa Base de Curvatura bacia Córrego Leitão.

### Impermeabilização do Solo

Para a construção do mapa base de Áreas Impermeáveis e permeáveis foram consideradas, respectivamente, as áreas urbanizadas e as áreas de parques e de preservação. Além disso, as áreas verdes permeáveis foram combinadas com a litologia de cada uma, após o cruzamento com o mapa geológico (Figura 6).

Como resultado do mapa tem-se que as áreas verdes correspondem a 12% da área total da bacia, enquanto que, as áreas impermeáveis, de maior expressividade, correspondem a 88% da área total da bacia córrego do Leitão. Ressalta-se que a impermeabilização do solo anula as características de permeabilidade da geologia e intensifica o processo de escoamento superficial, principalmente onde as declivi-

dades são altas e médias e as curvaturas são côncavas.

As áreas verdes à montante correlacionam-se com a geologia do Grupo Piracicaba e o Grupo Itabira do Supergrupo Minas, que representam a maior concentração de áreas verdes dentro da bacia (5,76% da área total verde). As regiões onde ocorre o Grupo Sabará apresentam algumas áreas verdes (5,51% da área total verde), principalmente do lado direito da bacia. Já a região sobre o Complexo BH corresponde apenas com 0,73% da área total com áreas verdes na bacia.

As áreas mais permeáveis sobre os grupos Piracicaba e Itabira favorecem o processo de infiltração. Entretanto, localizam-se em locais de declividade média a alta (10-30%, 30-47% e > 47%). Por outro lado, se comparadas às áreas impermeáveis de

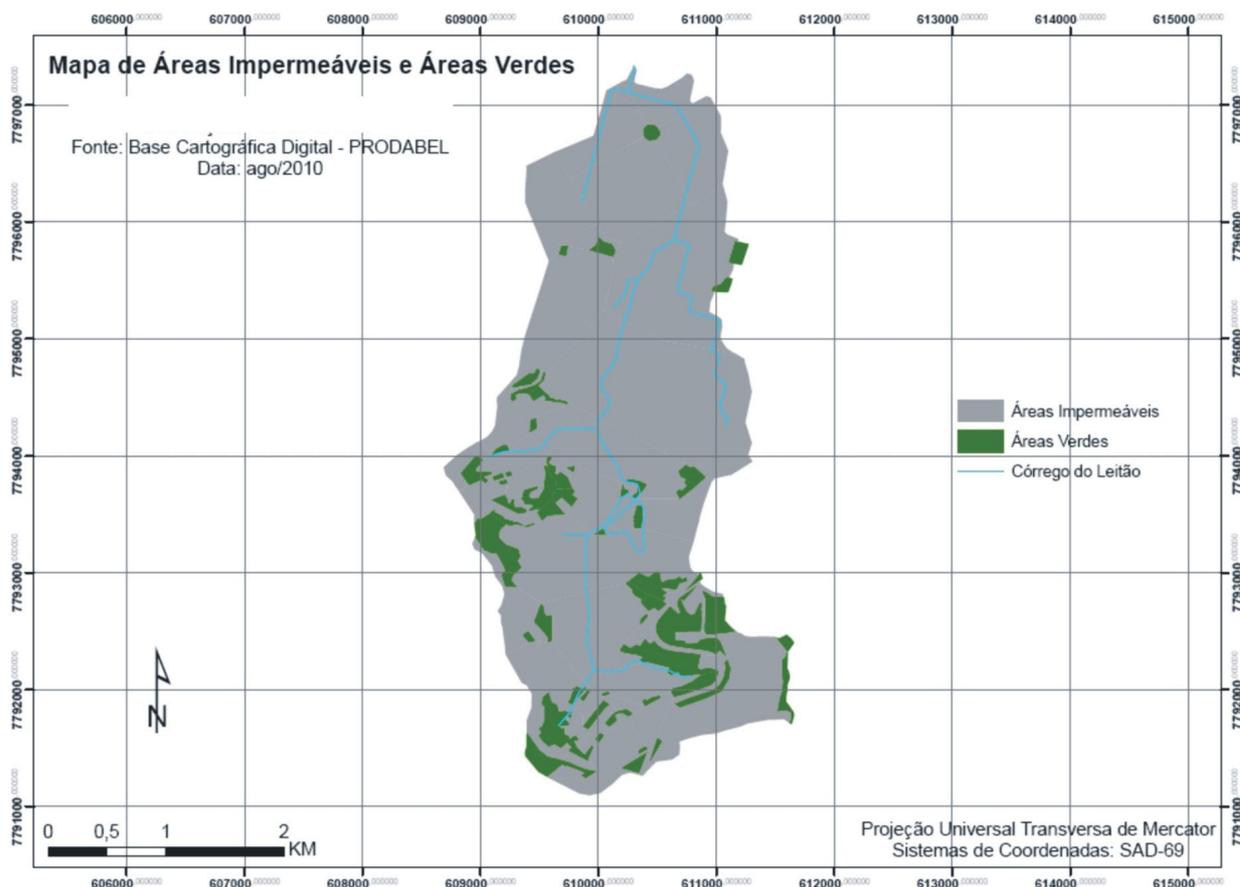


FIGURA 6. Mapa Áreas Impermeáveis e Áreas Verdes bacia Córrego do Leitão.

declividade média a alta do Grupo Sabará, resultarão em menor susceptibilidade à formação de enxurradas.

As áreas verdes presentes no Grupo Sabará são naturalmente mais impermeáveis devido às características dos xistos e filitos desse grupo, o que pode favorecer o escoamento superficial independentemente da declividade e impermeabilização do solo.

### MAPA FINAL DE SUSCEPTIBILIDADE À FORMAÇÃO DE ENXURRADAS – CRUZAMENTO DOS MAPAS TEMÁTICOS

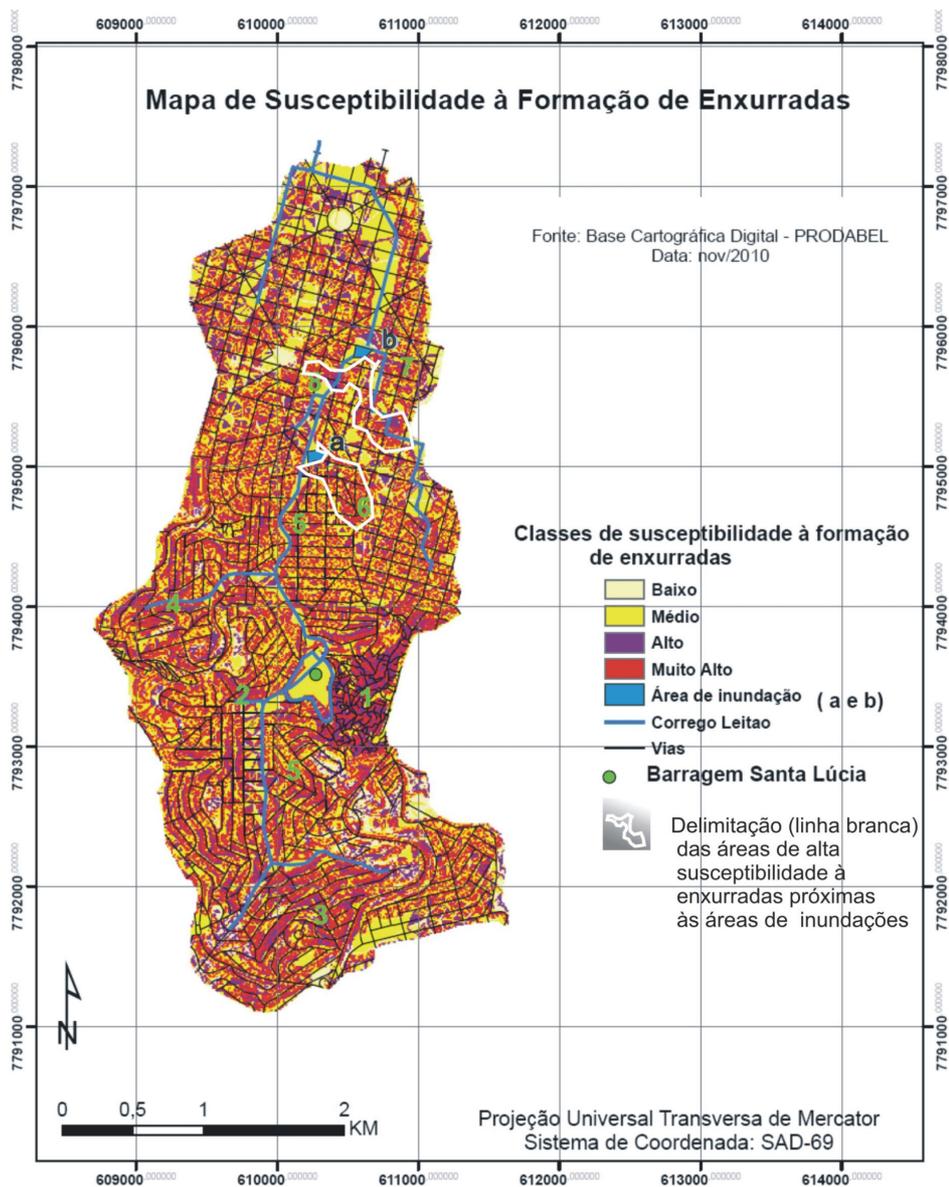
O mapa final de susceptibilidade à formação de enxurradas (Figura 7), gerado a partir do cruzamento dos mapas de declividade, curvatura e áreas impermeáveis a áreas verdes, indica quais são os pontos de maior formação de enxurradas dentro da bacia córrego do Leitão. Neste mapa foi incluído o arruamento para uma melhor avaliação das ruas mais propícias ao acúmulo do escoamento superficial.

Analisando o mapa final observa-se que as áreas que apresentaram susceptibilidade baixa à formação de enxurradas coincidiram em vários pontos com áreas verdes descritas no mapa de áreas impermeáveis e áreas verdes (Figura 6). Como resultado observa-se que as áreas verdes, mesmo onde a geologia apresenta

uma baixa permeabilidade, permitem maior retenção do escoamento superficial.

As áreas de susceptibilidade média, alta a muito alta à formação de enxurradas estão distribuídas ao longo de toda a bacia do córrego do Leitão. Mas, como apresentado na Figura 7, há uma concentração maior de áreas com susceptibilidade alta a muito alta à formação de enxurradas em alguns pontos específicos:

- Ponto 1 - no lado direito da barragem de Santa Lúcia, que coincide com a presença das vilas e favelas locais. Esta é a área de maior susceptibilidade se comparada com as demais.
- Ponto 2 - no lado esquerdo da barragem de Santa Lúcia, ao longo do afluente sem nome.
- Ponto 3 - na cabeceira da bacia entre as duas drenagens de montante. Neste local, as enxurradas ora são paralelas ao arruamento que, por sua vez, é paralelo à drenagem e ora são perpendiculares às ruas.
- Ponto 4 - na área de cabeceira da drenagem a enxurrada também flui paralelamente ao arruamento e ao afluente e perpendicularmente ao rio principal (Córrego do Leitão).
- Ponto 5 - ao longo das margens do canal fluvial



**FIGURA 7.** Mapa de Susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia córrego do Leitão (de 1 a 8 são pontos especiais descritos no texto; a e b são as áreas de inundação).

principal, que se correlacionam com os pontos de maior concavidade, declividade média a baixa e áreas impermeáveis. Além disso, o canal fluvial recebe a contribuição do escoamento superficial de toda a bacia, o que justifica a classificação.

- Ponto 6 - ao longo das vias José Ribeiro, Barão de Macaúbas, e Joaquim Murtinho próximas a mancha de inundação (a) no mapa (Figura 7).
- Ponto 7 - ao longo da rua Alvarenga Peixoto próximo da mancha de inundação (b) com o cruzamento das vias São Paulo, Barbara Heliadora e Alvarenga Peixoto.
- Ponto 8 - em quatro pontos ao longo da drenagem principal (exibidos na Figura 2 entre as coordenadas x: 610000 a 611000 e y: 7795000 a 7796000) onde se percebe estreitamento do relevo

ao longo do vale fluvial. Estes estrangulamentos do relevo incentivam maior concentração de água, pois causam barreiras naturais que dificultam o rápido escoamento das enxurradas vindas das áreas de entorno durante os períodos chuvosos e, conseqüentemente, podem proporcionar a ocorrência de processos hidrológicos (enchentes, inundações e alagamentos). A mancha de inundação (a primeira de baixo para cima) na via Joaquim Murtinho localiza-se justamente após um estrangulamento do relevo, o que pode ser considerado mais um condicionante para sua geração.

As áreas de inundações descritas pela SUDECAP/PBH (2009) localizam-se próximas dos pontos 6 e 7 de maior susceptibilidade à formação de enxurradas.

A área de inundação (a) localizada entre a rua Joaquim Murtinho e a Avenida Prudente de Moraes é caracterizada por uma curvatura côncava, declividade de média a baixa e por estar em área impermeabilizada. A outra mancha de inundação (b) situada entre os cruzamentos das ruas Barbara Heliodora, São Paulo e Alvarenga Peixoto, caracteriza-se por apresentar a curvatura côncava, declividade baixa a muito baixa e ocorrer em área impermeabilizada.

Outro aspecto condicionante é que na rua Joaquim Murtinho (área de inundação – a), exatamente onde ocorre a inundação, existe um rebaixamento (conca-vidade) do arruamento com relação à avenida Prudente de Moraes, avenida da esquina, o que torna a drenagem deficiente e induz alagamento (Figura 8).



**FIGURA 8.** Rua Joaquim Murtinho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. As setas azuis demonstram a concavidade e a direção do fluxo da água. (Foto – Patrícia E. Reis, Outubro 2010).

As características que mais condicionaram a classificação das áreas de maior susceptibilidade à formação de enxurradas foram a concavidade e a impermeabilização da área. Além disso, a área de inundação entre os cruzamentos das ruas Barbara Heliodora, São Paulo e Alvarenga Peixoto recebe contribuição de água do afluente sem nome (próximo ao ponto 7) à direita do mapa da Figura 7.

O escoamento superficial intenso gerado nas áreas dos pontos 1 e 2 é retido na Barragem Santa Lúcia e as inundações são minimizadas. O escoamento gerado nos pontos 3 e 5 ocorrem à montante da barragem e também deve ser retido pela mesma. Por outro lado, os demais pontos, à jusante da barragem de Santa Lúcia, em que as enxurradas não confluem para a barragem, devem ser considerados como locais de

perigo de acidentes durante as chuvas intensas, a menos que contenham um sistema eficiente de drenagem.

No mapa de direção de fluxo verifica-se que as áreas de inundações estão justamente nas direções de dois fluxos de vertente, uma pela Avenida Prudente de Moraes (canal principal) e outra à nordeste da bacia. Ressalta-se que as manchas recebem fluxo significativo da porção nordeste da bacia e não somente da drenagem principal que está canalizada na Avenida Prudente de Moraes (Figura 9).

Além disso, nas áreas na cabeceira parte do fluxo é retido pelas áreas verdes e parte escoada para a barragem Santa Lúcia, que foi construída para controlar as enchentes da bacia. Na área de jusante existe um fluxo direcionado para a confluência do córrego Leitão com o ribeirão Arrudas.

O mapa de fluxo acumulado mostra os locais de maior, moderado e menor acumulação de água. Entretanto, apenas pode ser verificado que as drenagens de ordem superior coincidem com maior acumulação e as drenagens de ordem intermediária e menor, respectivamente, com as menores acumulações. Foi possível correlacionar que as manchas de inundação estão localizadas próximas a duas drenagens de médio e alto acúmulo de água.

#### **AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE PRECIPITAÇÕES DOS DIAS DE OCORRÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS**

O primeiro evento ocorrido em 16 de março de 2009 provocou uma chuva de 50,4 mm às 21hs e logo depois mais 14 mm às 22hs, resultando em uma chuva de 64,4 mm em duas horas. O segundo evento, em 7 de outubro de 2009 no mesmo local da data anterior, resultou em um pico de 61,4 mm às 21hs, que foi reduzido a 0,2 mm nas duas horas seguintes. O último evento descrito, em 15 de janeiro de 2010, que provocou alagamento da via onde há a área de inundação (a), apresentou dois picos de precipitação sendo o primeiro à 1h da madrugada com uma taxa de 53 mm e o segundo com 32,8 mm às 12hs. Ressalta-se que apenas no primeiro evento foram registradas vitimas (Figuras 10 e 11).

Estas precipitações podem ser caracterizadas como intensas, ou seja, elevadas e concentradas em um curto intervalo de tempo. As chuvas intensas são descritas como fortes condicionantes para a formação de enxurradas (Castro et al., 2007). Correlacionando-se as taxas de precipitação com o mapa de direção de fluxo (Figura 9) nota-se que boa parte do volume de água precipitado em curto intervalo irá fluir para as direções apontadas pelo mapa e, também, ao longo das áreas de maior susceptibilidade à formação de enxurradas, conforme o mapa da Figura 7.

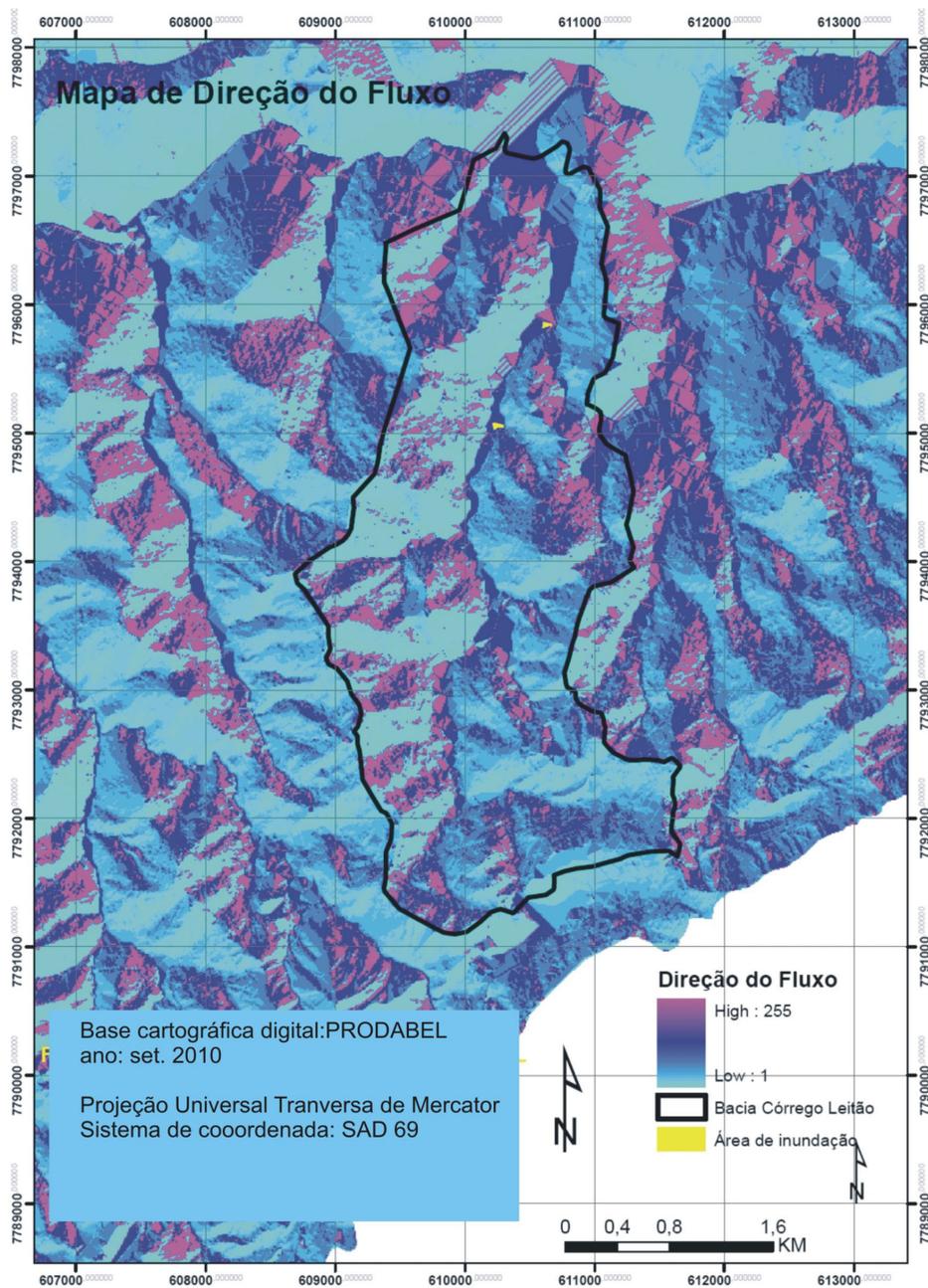


FIGURA 9. Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leitão.

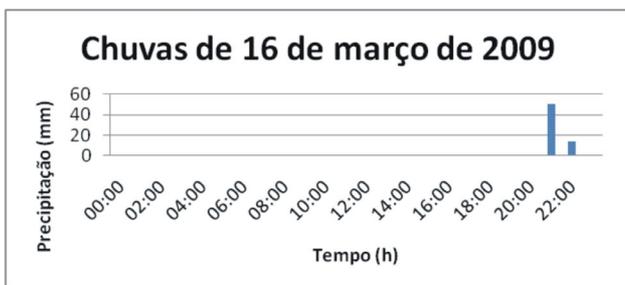


FIGURA 10. Precipitação de 16 de março de 2009.

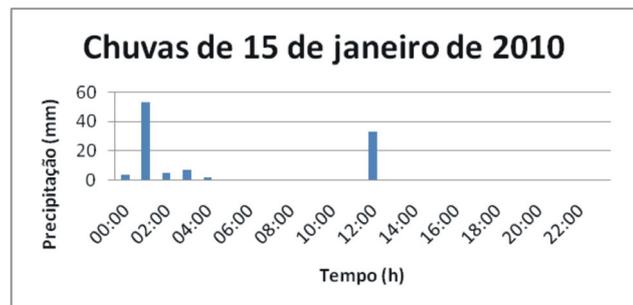


FIGURA 11. Precipitação de 15 de janeiro de 2010.

## CONCLUSÕES

A partir da análise de multicritérios foi possível verificar no mapa final duas áreas de susceptibilidade alta a muito alta às enxurradas direcionadas diretamente para as manchas de inundações apresentadas pela SUDECAP/PBH. A primeira localiza-se entre a rua Joaquim Murtinho e Avenida Prudente de Moraes e a outra entre as ruas Alvarenga Peixoto, Barbara Heliodora e São Paulo. Além disso, a análise do mapa final foi corroborada pelas informações obtidas com o mapa de direção de fluxo que demonstrou a forte ocorrência de escoamento da água para os pontos de susceptibilidade alta a muita alta na bacia.

Isto reforça a interpretação de que o escoamento superficial nas áreas urbanas é um forte condicionante das inundações, enchentes e alagamentos. Portanto, o mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas pode ser uma ferramenta importante para o controle de tais processos nas áreas urbanas. A localização das áreas mais susceptíveis à enxurradas permitirá maior eficácia dos planos de prevenção e redução dos riscos. Os mapas de áreas de inundação quando analisados de maneira isolada não retratam os condicionantes da inundação, apenas localizam as áreas inundadas. Por isso, os mapas de susceptibilidade à formação de

enxurradas auxiliam na compreensão da causa do fenômeno inundação e permitem o melhor planejamento de intervenções e/ou medidas para reduzir as inundações por meio de atenuação de seus condicionantes.

É possível avaliar áreas que devem sofrer redimensionamento das redes e galerias de drenagem, como também receberem a aplicação de outros dispositivos de infiltração das águas pluviais visando amortizar as enxurradas.

A preservação e a construção de novas áreas verdes, por exemplo, permitem a retenção do escoamento superficial em uma área urbana. Isto é válido mesmo quando a geologia não é favorável à infiltração, pois a vegetação nesta situação serve como barreira quebrando a velocidade de escoamento.

Para estudos futuros recomenda-se o emprego dos métodos de análise usados em outras sub-bacias do ribeirão Arrudas e também na bacia e sub-bacias do ribeirão do Onça, no município de Belo Horizonte. Os mapas temáticos de declividade, curvatura, áreas impermeáveis e permeáveis, de geologia e solos, devem ser cruzados, o que permitirá uma visão integrada dos processos de escoamento superficial e de inundação.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais pelos projetos financiados (Processo CRA – 1191/05 e APQ-00269-11) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da UFMG pelo apoio para a realização da pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMARAL, R. & RIBEIRO, R.R. Enchentes e Inundações. In: TOMINAGA, L.K; SANTORO, J; AMARAL, R. (Orgs.), **Desastres Naturais, conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, p. 40-53, 2009.
2. ANJOS, D.S. **Classificação da curvatura de vertentes em perfil via *thin plate spline* e inferência fuzzy**. Rio Claro, 2008. 97 p. Dissertação (de Mestrado) – Universidade Estadual Paulista.
3. ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P.T.S.; RODRIGUES, D.B.B.; AYRES, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.
4. ARAÚJO, E.P. **Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento**. São José dos Campos, 2006. 88 p. Dissertação (de Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.
5. BRAGON, R. Temporal causa morte e prejuízos em Belo Horizonte (MG). Especial para o **UOL Notícias**. Disponível em: [www.uol.com.br](http://www.uol.com.br). Acessado em: 03jun09.
6. CASTRO, A.L.C.; CALLHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; BRINGEL, M.L.N.C. **Manual de Desastres Naturais**. Volume I. Brasília: Ministério da Integração Nacional, 174 p., 2003.
7. CASTRO, A.L.C.; CALHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; COELHO, A.L.N. Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, 2007, p. 2437-2445.
8. CRISTO, S.S.V. **Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina**. Florianópolis, 2002. 211 p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina.
9. ECKHARDT, RR.; SALDANHA, D.L.; ROCHA, R.S. Modelo Cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas urbanas sujeitas às inundações da cidade de Lajeado/ RS. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 60/03. (ISSN 1808-0936), 2008.
10. GUIMARÃES, L.J.R. **Levantamento das áreas potenciais ao assoreamento da barragem Piraquara I**. Curitiba, 2008. 90 p.

- Dissertação (Mestrado em Geografia) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.
11. JORNAL ESTADO DE MINAS – 2008, 2009 – Disponível em: <http://www.estaminas.com.br/>. Último acesso em: nov2010).
  12. MAGALHÃES, F.D. DE. **Chuva causa alagamentos em BH**. Disponível em: [www.uai.com.br](http://www.uai.com.br). Acessado em: 07jun2010.
  13. MINISTÉRIO DAS CIDADES / IPT – INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios**. In: CARVALHO, C.S., MACEDO, E.S., OGURA, A.T. (Orgs.). Brasília: Ministério das Cidades / Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007.
  14. MOREIRA, C.V.R. & PIRES NETO, A.G. Clima e Relevô. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia: **Geologia de Engenharia**, p. 69-85, 1998.
  15. MOURA, A.C.M. Reflexões metodológicas como subsídios para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 2899-2906.
  16. PINHEIRO, A. As inundações no Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS E TECNOLÓGICOS, 2, 2007, Santos. **Anais...** Santos: Centro de Operação do Sistema de Alerta da Bacia Hidrográfica do Rio Itajaí - Universidade Regional de Blumenau, 2007, 33 p.
  17. SANTOS, R.F.S. **Vulnerabilidade Ambiental**. Brasília: MMA, 192 p., 2007.
  18. SANTOS, W. & VIEIRA, B.C. **Influência de fatores topográficos na distribuição de escoamentos translaçionais rasos na serra do Mar, Cubatão (SP)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009, 18 p.
  19. SILVA, A.S.; CARVALHO, E.T.; FANTINEL, L.M.; ROMANO, A.W.; VIANA, C.S. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte. **Relatório Final**. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/UFMG, 490 p., 1995.
  20. SILVEIRA, R.D. **Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé, RS**. Santa Maria, 2007. 154 p. Dissertação (Mestrado) – Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria.
  21. SSTABILE, R. A. & VIEIRA, B. C. O Papel do Ângulo da Encosta e da Forma das Vertentes na Distribuição das Feições Erosivas da Bacia Água da Faca, Piratininga (SP). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 13, 2009, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 2009.
  22. SUDECAP – SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL. Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Prefeitura de Belo Horizonte. **Carta de Inundações de Belo Horizonte – Identificação de áreas potencialmente susceptíveis**, 2009.
  23. TULLER, M.O.; CALIJURI, M.L.; MARQUES, E.A.G. Automação Digital dos Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais integrados no município de Belo Horizonte, MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL, 6, 2007, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: ABGE, 2007, 17 p.
  24. TUCCI, C.E.M. & BERTONI, J.C. (Orgs.). **Apostila de Inundações Urbanas da América Latina**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 129 p., 2003.
  25. TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. (Orgs.). **Drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade, UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v. 25, 450 p., 1995.
  26. VALERIANO, M.M.; BISPO, P.C.; KUPLICH, T.M. Análise geomorfométrica como subsídio ao mapeamento da vegetação. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007, p. 1607-1613.
  27. VIEIRA, C.V. & OLIVEIRA, F.A. A cartografia digital como subsídio na análise geomorfológica do Morro dos Sargentos – Joinville, SC. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE DESASTRES NATURAIS, 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: GEDN/UFSC, 2004, p. 203-211.

*Manuscrito Recebido em: 28 de fevereiro de 2011  
Revisado e Aceito em: 10 de novembro de 2011*