



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG: estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas.

Autora: Patrícia Elizamma Reis

Orientadora: Prof.^aDr.^a Maria Giovana Parizzi.

Belo Horizonte

2011

Patrícia Elizamma Reis

O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG:
estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Geologia do Instituto
de Geociências, da Universidade Federal
de Minas Gerais, como requisito para a
obtenção ao título de Mestre em
Geologia. Área de concentração:
Geologia Regional
Orientadora: Prof.^a Dr.^a Maria Giovana
Parizzi

BELO HORIZONTE
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DA UFMG

2011

R375e
2011

Reis, Patrícia Elizamma.

O escoamento superficial como condicionante de inundação em Belo Horizonte, MG [manuscrito] : estudo de caso da sub-bacia córrego do Leitão, bacia do ribeirão Arrudas. / Patrícia Elizamma Reis. – 2011.

xiv, 134 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências, 2011.

Área de concentração: Geologia Regional.

Orientadora: Maria Giovana Parizzi.

Bibliografia: f. 78-86.

Inclui anexo.

1. Belo Horizonte – Inundações – Teses. 2. Hidrologia – Belo Horizonte – Teses. 3. Belo Horizonte – Geologia urbana – Teses. I. Parizzi, Maria Giovana. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 556:711.4(815.11)

Dissertação defendida e aprovada, em 25 de fevereiro de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:

Prof.^a Dr.^a Maria Giovana Parizzi – IGC/UFMG

Prof.^o. Antônio Pereira Magalhães – IGC/UFMG

Prof.^o. Dr.^o Frederico Garcia Sobreira – DEAMB/UFOP

AGRADECIMENTOS

À Deus por estar sempre ao meu lado me encaminhando e me fortalecendo.

À minha orientadora, Maria Giovana, pela orientação, de dedicação e paciência durante o mestrado.

À minha mãe, Rosângela, e ao meu irmão Thiago, pelo amor incondicional, e por sempre me incentivarem.

Ao Danilo, monitor de geoprocessamento, pela paciência e ensinamentos do programa Arc Gis.

Aos meus amigos conquistados no mestrado Priscilla e Flávio.

Ao meu colega de graduação Marco Antônio.

Ao colegiado de pós-graduação em Geologia pela compreensão e oportunidade.

Aos professores e funcionários do IGC.

E a todos que contribuíram diretamente e indiretamente para a conclusão deste mestrado.

*À minha mãe Rosângela da G. S. Reis, minha filha Laura R. Andrade e
aos meus irmãos Thiago V. Reis e Samuel C. Pimenta.*

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Dedicatória	vi
Sumário	vii
Lista de Figuras	ix
Listas de Tabelas	xi
Glossário e Siglas	xii
Resumo	xiii
Abstract	xiv
Capítulo I	
1. Introdução	2
1.1 Objetivos	4
1.1.1 Objetivos Específicos	4
Capítulo II	
2. Fundamentação Teórica	5
2.1 Definição e caracterização de processos hidrológicos	6
2.1.1 Enchentes e Inundações	7
2.1.2 Alagamentos	11
2.1.3 Enxurradas (Escoamento superficial concentrado)	12
2.2 Características físicas de uma bacia hidrográfica	15
2.2.1 A área de drenagem	16
2.2.2 Formas de uma bacia hidrográfica	16
2.2.3 Sistemas de drenagem	16
2.2.4 Padrões de drenagem	18
2.3 Característica de relevo de uma bacia	20
2.3.1 Declividade da bacia	21
2.3.2 Superfícies de Curvatura	21
2.4 Capacidade de Infiltração	23
2.5 Sistema de Informação Geográfica (SIG) – Análise de Multicritério	24
2.6 Caracterização geral de Belo Horizonte	26
2.6.1 Bacia do ribeirão Arrudas e bacia do ribeirão do Onça	26
2.6.2 Geologia de Belo Horizonte e das bacias do ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça	28
2.6.3 Relevo de Belo Horizonte	33
2.6.4 Clima	35
Capítulo III	
3. Métodos	36
3.1 Análise geral das bacias do ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça de Belo Horizonte	36
3.2 Definição da área de estudo	37
3.3 Análise das características físicas e antrópicas da sub-bacia do córrego do Leitão	39
3.4 Análise do Mapa de Direção de Fluxo	42
3.5 Correlação da Carta de Inundação (SUDECAP/PBH, 2009) com o Mapa Final	42

3.6 Correlação entre as taxas pluviográficas e eventos hidrológicos	43
Capítulo IV	
4. Resultados	45
4.1 Análise geral das bacias do ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça de Belo Horizonte	45
4.2 Caracterização da Bacia Córrego Leitão	56
4.2.1 Geologia	57
4.2.2 Altimetria	58
4.2.3 Declividade	58
4.2.4 Curvatura	63
4.2.5 Impermeabilização do Solo	65
4.3 Análise do Mapa Final – Cruzamento dos mapas bases	66
4.3.1 Mapa de direção de fluxo	72
4.4 Avaliação das taxas de precipitação nos dias de ocorrência de eventos hidrológicos	73
Capítulo V	
5. Conclusões	75
Capítulo VI	
6. Referências Bibliográficas	78
Anexo I: Revista submetida à Revista Geociências	87
Anexo II: Currículo da autora	133

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Enchente do ribeirão Arrudas em trecho do bairro Caetano Furquim, dezembro de 2008	7
Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação	8
Figura 3: Inundação na Av. Cristiano Machado em 15/12/2008	8
Figura 4: Ocupações irregulares nas margens do Ribeirão Arrudas (Bairro Caetano Furquim)	9
Figura 5: Alagamento no bairro Caetano Furquim em Dezembro de 2008, Belo Horizonte	11
Figura 6: Drenagem não suporta a quantidade de água de chuva – bairro Anchieta, BH	11
Figura 7: Lixo entupindo bueiro, Belo Horizonte	12
Figura 8: Escoamento da água pluvial (rápida e intensa) – bacia Córrego do Leitão	13
Figura 9: Enxurrada brusca ocorrida em Janeiro de 2009 – bairro Anchieta, Belo Horizonte, MG	14
Figura 10: Carreamento de material pela enxurrada – Janeiro de 2009 – Bairro Anchieta, Belo Horizonte	15
Figura 11: As formas da bacia: circular, elíptica e ramificada	16
Figura 12: Ordem de Cursos de Água	17
Figura 13 : Padrões de drenagem	20
Figura 14: Combinações de classes de curvatura vertical e horizontal	22
Figura 15: Bacias hidrográficas do Município de Belo Horizonte e Contagem	27
Figura 16: Mapa geológico de Belo Horizonte	30
Figura 17: Rompimento do muro de gabião após chuva de 31 de dezembro de 2008. Avenida Tereza Cristina	38
Figura 18: Pluviógrafo instalado no Jardim Montanhês, dentro da área da COPASA	43
Figura 19: Mapa de declividade bacia ribeirão Arrudas	46
Figura 20: Mapa Hipsométrico da bacia do ribeirão Arrudas. Percebe-se os afluentes principais do lado sul são paralelos e perpendiculares ao alinhamento da Serra do Curral	48
Figura 21: Mapa de curvatura da bacia do ribeirão Arrudas	49
Figura 22: Mapa de Susceptibilidade à formação de enxurradas para a bacia do ribeirão Arrudas baseado no cruzamento dos temas declividade e curvatura	50
Figura 23: Mapa de localização das drenagens pertencentes à bacia do ribeirão Arrudas	51
Figura 24: Mapa hipsométrico bacia ribeirão do Onça	52
Figura 25: Mapa de declividade bacia do ribeirão do Onça	53

Figura 26: Mapa de curvatura bacia ribeirão do Onça	54
Figura 27: Precipitação de 31 de dezembro de 2008	55
Figura 28: Vista aérea da bacia do córrego Leitão	56
Figura 29: Mapa de Localização da bacia Córrego do Leitão	57
Figura 30: Mapa Geológico da bacia Córrego do Leitão	58
Figura 31: Mapa Hipsométrico bacia Córrego do Leitão	60
Figura 32: Mapa base de Declividade bacia córrego do Leitão	61
Figura 33: Rua João Freitas com declividade média e curvatura retilínea	62
Figura 34: Mapa base de curvatura bacia córrego do Leitão	64
Figura 35: Mapa áreas impermeáveis e áreas verdes bacia Córrego do Leitão	65
Figura 36: Mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia Córrego do Leitão	67
Figura 37: Rua Joaquim Murtinho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. As setas demonstram a concavidade descrita	70
Figura 38: Escoamento superficial vindo da vila Barragem Santa Lúcia (ponto 1) sendo retido pela barragem	71
Figura 39: Fragmentos rochosos e pedregulhos espalhados por enxurrada forte ao longo da rua La Place, esquina com rua Zodíaco (ponto 3), após chuva intensa. As manchas na foto são gotas de chuva na lente da câmara	71
Figura 40: Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leitão	72
Figura 41: Chuva de 16 de março de 2009	73
Figura 42: Chuva de 15 de janeiro de 2010	74

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2009	2
Tabela 2 - Variáveis extraídas a partir do MDE	25
Tabela 3: Valores adotados para reclassificação da declividade	36
Tabela 4: Valores adotados para reclassificação da curvatura	36
Tabela 5: Características utilizadas para a definição das áreas susceptíveis à formação de enxurradas, suas classes e notas atribuídas a cada classe	41
Tabela 6: Valores adotados para a geologia das áreas verdes	41
Tabela 7: Classes de susceptibilidade à formação de enxurradas	42
Tabela 8: Comparação entre bacias do ribeirão Arrudas e Onça	55

SIGLAS

CEFET: Centro Federal de Educação Tecnológico

COPASA: Companhia de Saneamento de Minas Gerais

ETE: Estação de Tratamento de Esgoto

IGC: Instituto de Geociências

MDE: Modelo Digital de Elevação

MNT: Modelos Numéricos do Terreno

NE: Nordeste

PBH: Prefeitura Municipal de Belo Horizonte

QF: Quadrilátero Ferrífero

SIG: Sistema de Informação Geográfica

SGM: Supergrupo Minas

SGRV: Supergrupo Rio das Velhas

SUDECAP: Superintendência de Desenvolvimento da Capital

SW : Sudoeste

RMBH: Região Metropolitana de Belo Horizonte

UFMG: Universidade Federal de Minas Gerais

UFV: Universidade Federal de Viçosa

URBEL: Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte

ZCAS: Zona de Convergência do Atlântico Sul

Resumo

Inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas no município de Belo Horizonte são freqüentes no período chuvoso. 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 drasticamente com a ocorrência de desastres relacionados as inundações. As enxurradas (ou escoamento superficial concentrado) 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 escoamento superficial brusco na área urbana. Esta pesquisa 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, pertencente à bacia do ribeirão Arrudas, município de Belo Horizonte. O Método usado foi a Análise de Multicritérios que permitiu a elaboração do mapa de susceptibilidade às enxurradas a partir do cruzamento dos mapas de declividade, curvatura, áreas impermeáveis e áreas verdes e geologia. Estes mapas foram elaborados utilizando-se o software Arc gis 9.3. Para os mapas de declividade e curvatura utilizou curvas de nível com espaçamento de 5m. E o mapa de áreas impermeáveis e áreas verdes foi elaborados a partir de imagens do *Google Earth*. O Mapa final mostrou que as áreas que apresentaram baixa susceptibilidade à formação de enxurradas coincidiram em vários pontos com áreas verdes, o que mostra que estas áreas, mesmo onde os solos apresentam baixa permeabilidade, permitem a retenção do escoamento superficial. Áreas com susceptibilidade média, alta a muita alta estão distribuídas ao longo de toda a bacia, mas foi possível determinar locais de maior susceptibilidade que podem ser correlacionados aos pontos com maior freqüência de inundações. Os mapas de áreas de inundação quando analisados de maneira isolada não retratam os condicionantes da inundação, 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-chaves: inundação, susceptibilidade às enxurradas, mapa, córrego do Leitão

Abstract

Floods, rising of river flow, flooding and runoff in the city of Belo Horizonte are frequent during the rainy season. 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 impervious areas. Recently two deaths occurred due to flooding caused by sudden runoff. This work 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 from the crossing of the maps of declivity, curvature and impervious areas and green areas in the basin. These maps were made using the software named Arc gis 9.3. The maps of declivity and curvature made lines spaced at 5m. The map of impervious areas and green areas was made using Google Earth images. 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, indicating that these areas, even when soil has a low permeability, allowing the reduction of runoff.

Areas with moderate to very high susceptibility to the formation of runoff are distributed throughout the basin of the Leitão creek, but it was possible to determine the sites of highest susceptibility that can be correlated with the locations described as sites 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, Leitão creek.

Capítulo I

1. 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 atividades 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 o transbordamento das águas nas margens e/ou com acúmulo de águas pluviais nas vias urbanas.

A variação do nível ou de vazão de um rio depende das características climatológicas e físicas da bacia hidrográfica. Nas últimas décadas, a urbanização intensa das cidades ocasionou alterações no estado natural dos terrenos e dos cursos de água, assim como do clima local. Como exemplo, citam-se as impermeabilizações, que reduzem a capacidade de infiltração dos solos e rochas, as canalizações e retificação de rios, que alteram o regime hidrológico dos recursos hídricos, e a ocupação inadequada de áreas ribeirinhas, criando áreas de risco à ocorrência de fenômenos hidrológicos, que causam prejuízos humanos e materiais de grande monta.

Tais modificações alteram o ciclo hidrológico natural, interferindo nos volumes de água infiltrada, escoada superficialmente ou evaporada. Em muitos casos, ocorre significativo decréscimo da infiltração e aumento da evaporação e do escoamento superficial.

Além disso, o escoamento superficial passa a ser mais frequente com o aumento da precipitação influenciando na formação dos processos hidrológicos como as enchentes, inundações, alagamentos e as próprias enxurradas.

As modificações no espaço urbano são constantes no município de Belo Horizonte. Assim, a cada período chuvoso os riscos com relação aos desastres de caráter hidrológicos se agravam. A tabela 1 relaciona uma série de eventos ocorridos no município de Belo Horizonte durante o período chuvoso de 2008/2009, que causaram, no mínimo, prejuízos econômicos.

Tabela 1 – Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2009. (Fonte: Jornal Estado de Minas, 2008; Jornal Alterosa, 2009)

Data	Local	Evento
15/12/2008	Av. Cristiano Machado	alagamento
15/12/2008	Bairro Primeiro de Maio/Regional Norte	inundação Rib. Onça
15/12/2008	Bairro SãoTomáz-Reg.Norte/Pampulha/Noroeste	alagamento
15/12/2008	Córrego Pampulha/Bairro Dona Clara	inundação Rib. Onça
15/12/2008	Av. Sebastião de Brito	enchente
15/12/2008	Regional Leste	enchente
15/12/2008	Bairro Granja de Freitas/Regional Leste	inundação Rib Arrudas Não canalizado
18/12/2008	Av.Mendes Pimentel/UFGM	alagamento devido ao transbordamento do Córrego Mergulhão
31/12/2008	Av.Teresa Cristina/Reg. Oeste e Noroeste	inundação Rib. Arrudas
20/01/2009	Anel Rodoviário próximo a Av. Carlos Luz e aeroporto Carlos Prates	alagamento
20/01/2009	Av. Amazonas	alagamento
22/01/2209	Av.Teresa Cristina - Regional oeste	ribeirão Arrudas inundação e alagamento
22/01/2009	Região do Barreiro	alagamento
22/01/2009	Avenida Olinto Meireles/Barreiro	inundação
22/01/2009	Bairro Tirol no Barreiro e Bairro Betânia	alagamento
16/03/2009	Av. Prudente de Moraes	enxurrada brusca
16/03/2009	Bairro Prado, Rua Erê	alagamento e enxurradas
16/03/2009	Bairro Salgado Filho	inundação ribeirão Arrudas

Algumas obras estruturais são executadas para atenuar os problemas associados a fenômenos hidrológicos, como a barragem no bairro Santa Lúcia, bacias de contenção dos córregos Bonsucesso e Engenho Nogueira e obras nos leitos dos ribeirões Arrudas e Onça. Entretanto, discute-se muito a eficiência de tais obras a longo prazo, pois são soluções

concentradas apenas em trechos dos canais dos rios e muito pouco é feito com relação ao ordenamento e ocupação urbana nas bacias hidrográficas como um todo. Teme-se que, com o passar do tempo, tais obras se tornem obsoletas e os acidentes retornem.

De acordo com Amaral e 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.

Assim, com a finalidade de avaliar a ocorrência de graves inundações na área da sub-bacia do córrego Leitão em Belo Horizonte, esta dissertação analisa a susceptibilidade ao escoamento superficial intenso, baseando-se no critério de análise integrada das características físicas e de ocupação da bacia. De forma preliminar, os métodos de análise foram estendidos para as bacias do ribeirão Onça e Arrudas.

Esta avaliação combinada de dados foi realizada a partir da aplicação de modelos de análise espacial, com o emprego da análise multicritério 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 às enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas, uma vez que é difícil a eliminação completa do fenômeno (Eckhardt *et al.*, 2008).

1.1 Objetivos

O objetivo deste trabalho é analisar a susceptibilidade à formação de enxurradas, que contribui para a ocorrência de inundações, na sub-bacia do Córrego do Leitão, pertencente à bacia do ribeirão Arrudas, no município de Belo Horizonte.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Analisar previamente as bacias do ribeirão do Arrudas e Onça quanto à susceptibilidade à formação de enxurradas;
- Elaborar e analisar os mapas temáticos referente às características físicas da bacia do córrego Leitão, como geologia, declividade, superfícies de curvatura;
- Elaborar e analisar os mapas temáticos sobre as características antrópicas desta bacia do córrego Leitão com relação à intensidade de impermeabilização.
- Elaborar o mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas para a bacia do córrego do Leitão;
- Correlacionar as áreas, da bacia do córrego do Leitão, de maior susceptibilidade à formação de enxurradas às áreas de inundações apontadas pela SUDECAP/PBH (2009);
- Correlacionar às taxas e intensidades de precipitação dos períodos 2008/09 e 2009/10 que ocasionaram eventos hidrológicos à formação de enxurradas na bacia do córrego do Leitão.

Capítulo II

2. Fundamentação Teórica

No Brasil, a maioria dos fenômenos relacionados a desastres naturais é derivado da dinâmica externa da Terra, tais como, inundações e enchentes, escorregamentos de solos e/ou rochas e tempestades. Normalmente estes fenômenos ocorrem associados a eventos pluviométricos intensos e prolongados, nos períodos chuvosos que correspondem ao verão na região sul e sudeste e ao inverno na região nordeste. De acordo com EM-DAT (2009), o Brasil encontra-se entre os países do mundo mais atingidos por inundações e enchentes, tendo registrado 94 desastres no período de 1960 a 2008, com 5.720 mortes e mais de 15 milhões de pessoas afetadas (desabrigados/desalojados). Considerando somente os desastres hidrológicos que englobam inundações, enchentes e movimentos de massa, em 2008 o Brasil esteve em 10º lugar entre os países do mundo em número de vítimas de desastres naturais, com 1,8 milhões de pessoas afetadas (EM-DAT, 2009).

Inundações e enchentes são eventos naturais que ocorrem com periodicidade nos cursos d'água, freqüentemente deflagrados por chuvas fortes e rápidas ou chuvas de longa duração. Segundo UN-ISDR (2002), as inundações e enchentes são problemas geoambientais derivados de fenômenos ou perigos naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológico, ou seja, aqueles de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica. Sabe-se que, a magnitude e freqüência das inundações estão relacionadas com a distribuição, quantidade e intensidade da precipitação atmosférica (Souza, 1998), taxa de infiltração de água no solo, do grau de saturação do solo e características morfométricas e morfológicas da bacia de drenagem.

Em Belo Horizonte, vários desastres associados a enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas causam graves danos e também temor entre a população quando os períodos chuvosos se aproximam. Este capítulo irá tratar dos conceitos relacionados aos processos hidrológicos mais comuns em Belo Horizonte e seus condicionantes, conceitos relevantes para a análise de bacia hidrográfica e das características físicas do município, incluindo características de suas principais bacias que influenciam no desencadeamento ou agravamento dos fenômenos hidrológicos.

2.1. Definição e caracterização de processos hidrológicos

Segundo Amaral e Ribeiro (2009), a probabilidade e a ocorrência de inundação, enchente e 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 é 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 predis põem as águas a atingirem grandes velocidades em curto tempo, causando inundações bruscas e mais destrutivas. Os vales abertos, com extensas planícies e terraços fluviais, predis põem inundações mais lentas (graduais), devido ao menor gradiente de declividade das vertentes do entorno.

Chuvas intensas e/ou de longa duração favorecem a saturação dos solos, o que aumenta o escoamento superficial e a concentração de água nessas regiões. 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 citam-se:

- 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 *apud* 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 carregado 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 freqüentemente e com maiores conseqüências.

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.

2.1.1 Enchentes e inundações

Santos (2007) e Carvalho *et al.* (2007), definem a enchente como um processo natural que ocorre 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 (Figura 1).

A inundação 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). Figura 2 e Figura 3.



Figura 1: Enchente do ribeirão Arrudas em trecho do bairro Caetano Furquim, dezembro de 2008.

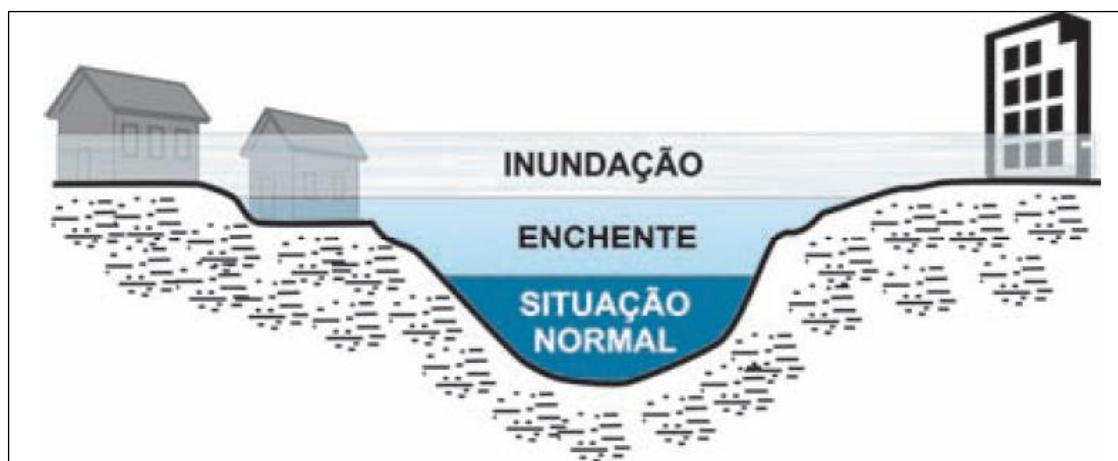


Figura 2: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação (Fonte: Min. Cidades/IPT, 2007).



Figura 3: Inundação na Av. Cristiano Machado em 15/12/2008. Fonte: Jornal Estado de Minas (2008).

As enchentes e inundações são processos naturais de natureza hidrometeorológica (Carvalho *et al.*, 2007) que ocorrem deflagrados por chuvas rápidas e fortes, chuvas intensas de longa duração, degelo nas montanhas e outros eventos tais como furacões e tornados. E podem ser intensificados pelas alterações ambientais e intervenções urbanas produzidas pelo homem, como a impermeabilização do solo, retificação dos cursos d'água e redução no escoamento dos canais devido a obras e assoreamentos (Carvalho *et al.*, 2007). Precipitações do tipo convectivas são, com frequência, condicionantes de inundações em pequenas bacias urbanas (Tucci *et al.*, 1995; Santos, 2007). Precipitações convectivas acontecem pelo aquecimento diferenciado da superfície e das camadas atmosférica, provocando uma ascensão brusca e violenta do ar menos denso, capaz de atingir grandes

altitudes (Vilella *et al.*, 1936; Pinto *et al.*, 1976; Garcez *et al.*, 1988). Suas ocorrências são em pequenas áreas, com curta duração e elevada intensidade.

As enchentes e inundações geram problemas ainda maiores quando há moradias nas margens dos cursos d'água (Figura 4). Estas áreas serão atingidas primeiramente quando ocorrer à elevação da água no canal do rio. As áreas de riscos atingidas pelas enchentes e inundações, segundo Carvalho *et. al.* (2007), são definidas como terrenos marginais.



Figura 4: Ocupações irregulares nas margens do Ribeirão Arrudas (Bairro Caetano Furquim).

Os processos de enchentes e inundações são também intensificados com o aumento da população urbana associado com a incapacidade do Estado em atender a demanda de moradias e o interesse imobiliário que determina a ocupação do solo urbano. Essa situação também gera a ocupação por populações nas áreas sujeitas a processos de dinâmica superficial desencadeadores de risco (Reckziegel *et al.*, 2007).

Santos (2007) ressalta que não existe rio sem ocorrência de enchente. Um rio pode vir a ter um aumento na elevação da água e assim resultar em uma enchente e não necessariamente ocorrer uma inundação. A inundação pode ocorrer por excesso de chuvas, por barreiras formadas no canal do rio, como os assoreamentos e lixos, comuns em áreas urbanas.

Além disso, as inundações podem ocorrer através do comportamento natural do rio ou intensificado pelo processo de urbanização (impermeabilização e canalização dos rios). Dessa forma, Tucci & Bertoni (2003) definem dois tipos de inundações que podem

ocorrer isoladamente ou de forma integrada em áreas urbanas. São as inundações de áreas ribeirinhas e as inundações devido à urbanização.

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 inundação nas áreas ribeirinhas. Os problemas gerados por esse tipo de inundação dependem do grau de ocupação da várzea pela população e da frequência com a qual as mesmas ocorrem (Tucci & Bertoni, 2003).

Essas ocorrências também acontecem diante da inexistência ou ineficiência do Plano Diretor. Isso é visto na maioria das áreas urbanas, a falta de restrições quanto ao loteamento de áreas de risco de inundação. Tal situação pode ser evitada, de acordo com Tucci & Bertoni (2003) através do planejamento do uso do solo das várzeas.

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 inundação 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 (Tucci & Bertoni, 2003) ao longo do terreno natural.

Monteiro (2003 *apud* Silveira, 2007) define algumas estratégias a serem formuladas no sentido de evitar, ou pelo menos minimizar, as inundações nas áreas urbanas. Destacam-se a racionalização do uso do solo, para que seja favorecido o escoamento, reformulação da infra-estrutura urbana referente à canalização de águas pluviais e regulação dos cursos d'água, não só nas áreas urbanizadas como naquelas imediatamente próximas e convergentes para estas.

Em relação a esses processos, muitas ações devem ser feitas afim de minimizar a intensidade com que atuam. Contudo, é fato que no passado não havia essa preocupação com relação ao que deveria ser feito para que esses processos não atingissem a população. Não foi dada a atenção para a organização espacial em uma área para que, por exemplo, pontos que margeiam os rios não fossem ocupados.

2.1.2 Alagamentos

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 (Min.Cidades/IPT, 2007) (Figura 5).



Figura 5: Alagamento no bairro Caetano Furquim em Dezembro de 2008, Belo Horizonte.

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). Figura 6



Figura 6: Drenagem não suporta a quantidade de água de chuva – bairro Anchieta, BH.

Data: Dezembro de 2008.

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. Figura 7



Figura 7: Lixo entupindo bueiro, Belo Horizonte. Fonte: Jornal Alterosa, 2009.

Os alagamentos são freqüentes nas cidades mal planejadas ou quando estas crescem rapidamente, de modo a dificultar a realização de obras de drenagem e de esgotamento de águas pluviais.

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).

2.1.3 Enxurradas (Escoamento superficial concentrado)

Segundo Pruski *et al.* (2003) todos os fatores que influenciam a taxa de infiltração da água no solo interferem, também, no escoamento superficial resultante. O escoamento superficial tende a crescer com o aumento da intensidade e a duração da

precipitação e da área abrangida pela precipitação, que constitui a principal forma de entrada de água no ciclo hidrológico.

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 escoam-se de forma rápida e intensa (Figura 8). Assim, de acordo com Amaral e 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.



Figura 8: Escoamento da água pluvial (rápida e intensa) – bacia Córrego do Leitão.

Além disso, as enxurradas podem ser intensificadas pelo processo de urbanização da cidade, uma vez que esta 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 *apud* Silveira, 2007) Figura 9.



Figura 9: Enxurrada brusca ocorrida em Janeiro de 2009 – bairro Anchieta, Belo Horizonte, MG.

Quando ocorre uma precipitação sobre a bacia hidrográfica, a parte que não se infiltra pelo solo ou é retida por algum elemento interceptador escoar superficialmente até alcançar um curso d' água. Neste, a vazão aumenta de instante a instante até atingir um valor máximo, decrescendo em seguida, de modo mais lento (Ostrowsky, 1991). Este acréscimo na descarga por certo período de tempo pode vir a ocasionar as enchentes e conseqüentemente as inundações e os alagamentos na área urbana.

Pruski *et al.* (2003) afirmam que quanto maior a área e a declividade da bacia, maior deverá ser a vazão máxima de escoamento superficial que ocorrerá na seção de deságüe da bacia.

À medida que a água superficial escoar nas zonas montanhosas carrega juntamente grande quantidade de material de variadas dimensões representando alto poder destrutivo. Essas áreas apresentam um escoamento de alta velocidade em função da inclinação acentuada, o que contribui de forma significativa no carreamento dos materiais (Figura 10). Dessa maneira, as enxurradas provocam muitos estragos, como erosão das margens, arrastamento de veículos e destruição de casas e estradas (Santos, 2007).



Figura 10: Carreamento de material pela enxurrada – Janeiro de 2009 – Bairro Anchieta, Belo Horizonte.

O material carreado irá para bueiros e galerias pluviais prejudicando o escoamento da água principalmente no período de chuvas. Esta situação, nos períodos chuvosos influenciará na formação das enchentes, inundações e alagamentos, pois confinam o canal, reduzindo a área de fluxo da água.

2.2 Características físicas de uma bacia hidrográfica

A bacia de drenagem, conhecida também como bacia hidrográfica, define-se como sendo a área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial, composto por um curso principal e seus tributários (Christofolletti, 1980; Suguio, 1979).

Uma bacia hidrográfica é limitada por divisores de águas ou divisores topográficos. Esses são denominados como as cristas das elevações do terreno que separam a drenagem entre duas bacias adjacentes. Assim sendo, a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é formada por um rio principal e pelos seus tributários, constituindo-se em um sistema de transporte de água e sedimentos.

A bacia de drenagem apresenta elementos que são de fundamental importância em seu comportamento hidrológico. Esses elementos são as características físicas de uma bacia tais como a área de drenagem, a forma, o sistema de drenagem e as características do relevo.

2.2.1 A área de drenagem

A área de drenagem de uma bacia é a área inclusa entre seus divisores topográficos. E é considerada o elemento básico para o cálculo das outras características físicas. A área é normalmente determinada por planimetria em mapas com escalas razoavelmente grandes (1:50000) e expressa em km² ou hectares (Villela *et al.*, 1936).

2.2.2 Formas de uma bacia hidrográfica

Uma bacia hidrográfica, pode apresentar várias formas, que supostamente refletem o seu comportamento hidrológico da bacia. A forma da bacia influencia o tempo de concentração, definido como o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua na seção em estudo, ou seja, tempo que a água dos limites da bacia leva para chegar à saída da mesma (Villela *et al.*, 1936).

A forma de uma bacia pode ser circular, elíptica, radial ou ramificada. Em uma bacia circular, toda a água escoada tende a alcançar a saída da bacia ao mesmo tempo. Para uma bacia elíptica o escoamento tende a ser mais distribuído no tempo, já que apresenta a saída da bacia na ponta do maior eixo. As bacias radial ou ramificado, para chuva uniforme, apresentam um escoamento variável que origina cheias nas sub-bacias, que somam-se, mas não de forma simultânea, no curso principal. Assim, a cheia crescerá, estacionará, ou diminuirá a medida em que for recebendo as contribuições das diferentes sub-bacias. Figura 11.

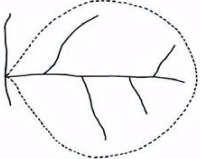
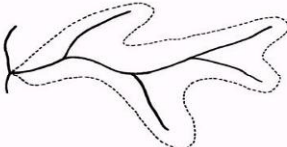
Formas	Circular	Elíptica	Ramificada
Ilustrações			

Figura 11: As formas da bacia: circular, elíptica e ramificada. (Fonte: Christofolletti, 1980)

2.2.3 Sistema de Drenagem

O sistema de drenagem é constituído pelo rio principal e seus tributários. O desenvolvimento desse sistema e o estudo das ramificações são relevantes para indicar a

maior ou menor velocidade com que a água deixa a bacia hidrográfica (Villela *et al.*, 1936). Para tanto é necessário o conhecimento da ordem dos cursos d'água e a densidade de drenagem.

a) Ordem dos Cursos de Água

Como critérios de ordenamento dos canais da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica, destacam-se os de *Horton* e de *Strahler*. A partir desses critérios, os rios são classificados como de primeira ordem, segunda ordem, terceira ordem, quarta ordem e assim sucessivamente (Figura 12).

Conforme Silveira (2000), no sistema de *Horton* os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem têm apenas afluentes de primeira ordem; os canais de terceira ordem recebem afluência de segunda ordem, podendo receber diretamente canais de primeira ordem; sucessivamente um canal de ordem u podem ter tributários de ordem $u-1$ até 1.

Para *Strahler*, todos os canais sem tributários são de primeira ordem, mesmo que sejam nascentes dos rios principais e afluentes; os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem; os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo ter afluentes de segunda e de primeira ordens; sucessivamente, um canal de ordem u é formado pela confluência de dois canais de ordem $u-1$, podendo receber a afluência de canais com qualquer ordem inferior.

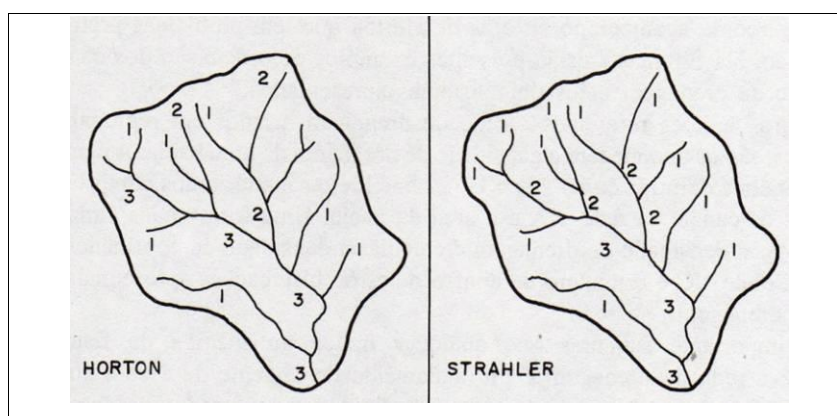


Figura 12: Ordem de Cursos de Água
Fonte: Silveira, 2000

b) Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (D_d) é uma boa indicação do grau de desenvolvimento de um sistema de drenagem (Villela *et al.*, 1936). Correlaciona o comprimento total (L) dos canais de escoamento com a área (A) da bacia hidrográfica (Christofolletti, 1980).

$$D_d = L / A$$

A equação acima mostra que a densidade de drenagem varia inversamente com a extensão do escoamento da drenagem da bacia. Villela *et al.* (1936) afirma que esse índice (densidade de drenagem) varia de 0,5 km/ km², para bacias com drenagem pobres, a 3,5 ou mais para bacias excepcionalmente bem drenadas.

Christofolletti (1980) afirma que em um mesmo ambiente climático, o comportamento hidrológico das rochas repercute na densidade de drenagem. Nas rochas onde a infiltração encontra maior dificuldade há condições melhores para o escoamento superficial, gerando possibilidades para a esculturação de canais, como entre as rochas clásticas de granulometria fina, e, como consequência, densidade de drenagem mais elevada.

As áreas de drenagens pobres, ou seja, de baixa densidade de drenagem são constituídas por relevo plano e suave, cuja condição de alta permeabilidade permite rapidez de infiltração de água e consequente recarga de aquíferos. O regime pluvial apresenta escoamento superficial pouco significativo, gerando mecanismos de erosão hídrica ligados ao processo inicial da gota de chuva e provocando a erosão laminar ou em lençol, decorrente do atrito do próprio escoamento superficial que conduz material erodido dos pontos abaixo das encostas para as calhas fluviais.

2.2.4. Padrões de drenagem

Os padrões de drenagem referem-se ao arranjo espacial dos cursos fluviais, que podem ser influenciados em sua atividade morfogenética pela natureza e disposição das camadas rochosas, pela resistência litológica variável, pelas diferenças de declividade e pela evolução geomorfológica da região (Christofolletti, 1980). Assim têm-se os tipos fundamentais dos padrões de drenagem: dentrítico, em treliça, paralela, radial e anelar (Figura 13).

□ A drenagem dentrítica (ou arborescente) apresenta desenvolvimento semelhante à configuração de ramos de uma árvore. Desenvolve-se tipicamente sobre rochas de resistência uniforme ou em rochas estratificadas horizontais. A presença de confluências em

ângulos retos no padrão dentrítico constitui anomalia que freqüentemente pode ser atribuída aos fenômenos tectônicos. (Suguio, 1979; Christofolletti, 1980)

□ A drenagem em treliça compõe-se por rios principais conseqüentes que correm paralelamente e recebem rios subseqüentes, os quais fluem transversalmente aos primeiros. Os rios subseqüentes recebem afluentes obsequentes e ressequentes. O controle estrutural sobre este padrão de drenagem é muito acentuado devido à desigual resistência das camadas inclinadas que afloram em faixas estreitas e paralelas. O padrão em treliça é encontrado em estruturas sedimentares homoclinais, em estruturas falhadas e nas cristas de anticlinais (Suguio, 1979).

□ A drenagem paralela caracteriza-se por cursos de água que fluem quase que paralelamente uns aos outros, em extensão considerável do terreno. Devido a sua disposição recebem também o nome de padrão em “rabo de cavalo”. Este tipo de drenagem localiza-se em áreas onde há presença de vertentes com declividades acentuadas ou onde existiam controles estruturais (Suguio, 1979).

□ A drenagem radial é formada por correntes fluviais que se apresentam como raios de uma roda em relação a um ponto central. Pode-se desenvolver sobre os mais variados embasamentos e estruturas. Ela pode ser do tipo centrífuga quando os rios divergem a partir de um ponto ou área mais elevada, como por exemplo cones vulcânicos e morros isolados. No tipo centrípeta os rios convergem para um ponto ou área central, localizada em posição mais baixa, como em crateras vulcânicas e depressões vulcânicas (Suguio, 1979; Christofolletti, 1980).

□ A drenagem anelar apresenta um padrão formado por anéis concêntricos. É típica de áreas dômicas profundamente entalhadas em estruturas formadas por camadas moles e duras (Suguio, 1979).

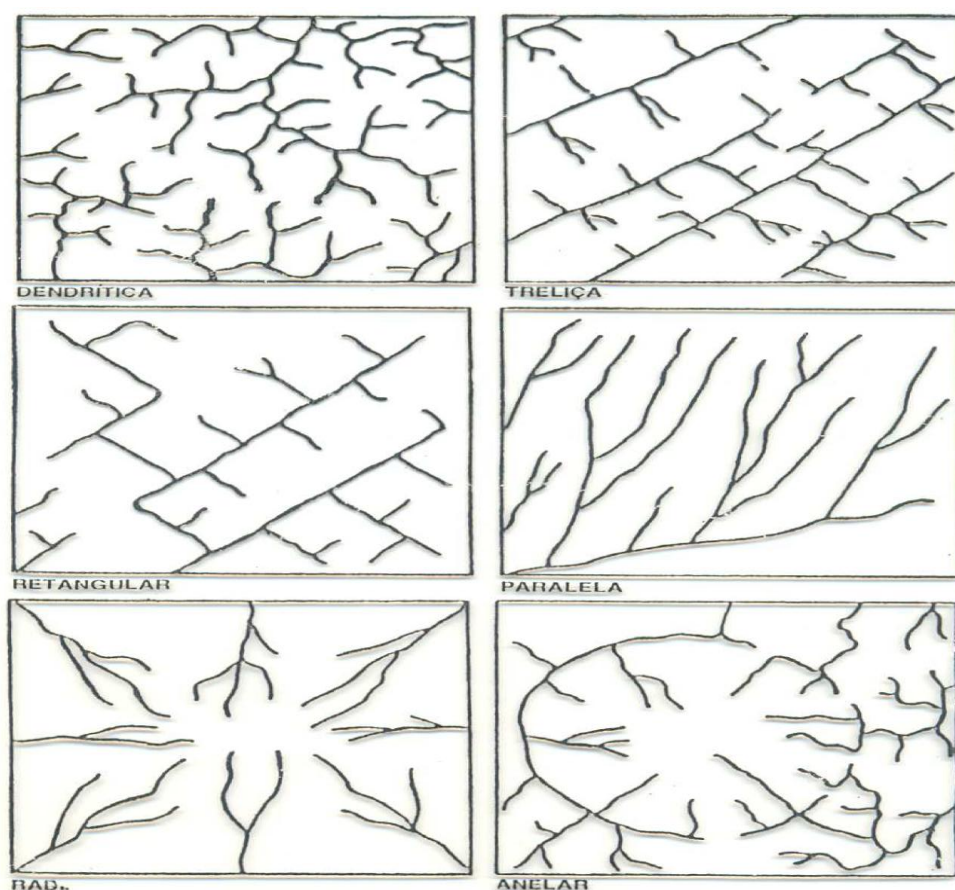


Figura 13 : Padrões de drenagem (Fonte: Christofolletti, 1980)

Todas essas características de um rio propiciam quantidades variadas de volume para cada área. Ao associar estas características naturais com as interferências humanas, as duas juntas refletem significativamente nessa variação (qualidade e quantidade) da água de um rio. Em geral essas interferências influenciam negativamente na evolução de eventos como os hidrológicos (enchentes e inundações).

2.3. Características de relevo de uma bacia

O relevo influencia de forma significativa os fatores meteorológicos e hidrológicos de uma bacia hidrográfica. A declividade, por exemplo, influencia a velocidade de escoamento superficial de uma bacia. Alguns parâmetros foram desenvolvidos para

refletir as variações do relevo em uma bacia tais como a própria declividade da bacia, a curva hipsométrica, elevação média da bacia (Villela *et al.*, 1936). Além disto, alguns autores ressaltam a importância de se estudar as superfícies de curvatura (côncava, retilínea e convexa) que refletem na distribuição ou concentração da água em uma bacia (Valeriano, 2003; Valeriano & Carvalho Júnior, 2003; Negreiros, 2003; Anjos, 2008).

Neste item será dado enfoque para a descrição dos parâmetros de declividade da bacia e suas superfícies de curvatura (côncava, retilínea e convexa) que também influenciam na formação dos processos de escoamento superficial concentrado.

2.3.1 Declividade da bacia

Em geral a declividade controla a velocidade do escoamento superficial de um terreno. Tal fato influencia no tempo que levará a água de chuva para concentrar-se nos leitos fluviais que constituem as redes de drenagem das bacias.

A declividade, ou inclinação, refere-se à relação entre a amplitude e o comprimento de rampa, que pode ser expressa em grau ou porcentagem. A determinação da declividade ou gradiente topográfico pode ser feita diretamente no campo, por meio de levantamentos topográficos, ou, indiretamente, por meio de cartas topográficas (Moreira *et al.*, 1998). É definida em uma relação percentual entre o desnível vertical “H” e o componente horizontal “L” da encosta, de acordo com a fórmula (Castro *et al.*, 2003):

$$D = H/L \times 100$$

De acordo com Wischmeier e Smith (1978 *apud* Guimarães, 2008), a Equação Universal de Perdas do Solo (EUPS) utiliza o fator declividade como uma das variáveis topográficas, adimensional baseada nos valores obtidos em porcentagem. Esses valores podem ser obtidos com ábacos, manualmente sobre as bases cartográficas ou por meio do geoprocessamento, pois a maioria dos softwares possuem algoritmos de manipulação que percorrem o modelo numérico de terreno, aplicando a equação para determinação da declividade.

2.3.2 Superfícies de Curvatura

As vertentes, que são uma das muitas feições geomorfológicas da superfície terrestre, apresentam sempre uma inclinação em relação ao plano horizontal e, por isso, têm conseqüências quanto à rapidez com que as águas das chuvas escorrem e com o nível de

encharcamento de um determinado terreno (Anjos, 2008). Além disto, o estudo dessas feições consideradas pela geomorfologia como unidades básicas do relevo e fundamentais para explicar o desenvolvimento das paisagens, vêm sendo de grande contribuição em diversas áreas como a defesa civil, construção civil e agricultura, que se interessam pela usabilidade do solo de forma mais adequada e na resolução e prevenção de problemas gerados pelos diferentes tipos de usos em diferentes feições. (Veloso, 2002 *apud* Anjos, 2008).

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. Valeriano (2003) aponta a diferença entre curvatura vertical e curvatura horizontal. A primeira se expressa na direção da declividade e a segunda se expressa ao longo da curva de nível. As classes de curvaturas horizontais (convergente, planar ou divergente) e verticais (côncavo, retilíneo ou convexo) podem ser combinadas para fornecer indicação da forma do terreno (Figura 14).

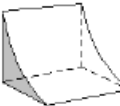
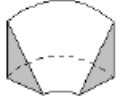
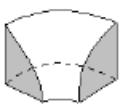
		Curvatura horizontal		
		convergente	planar	divergente
Curvatura vertical	côncava			
	retilínea			
	convexa			

Figura 14: Combinações de classes de curvatura vertical e horizontal (Fonte- Valeriano, 2008)

A classificação vertical, feita entre retilíneas, côncavas ou convexas, 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.

Os casos extremos de combinações de curvatura do terreno são representados pela forma côncavo-convergente (máxima concentração e acúmulo do escoamento) e pela forma convexa-divergente (máxima dispersão do escoamento).

2.4 Capacidade de infiltração

De acordo com Jorge e Uehara (1998), a infiltração é a passagem de água de superfície para o interior do terreno. É um processo que depende da disponibilidade de água, da natureza do terreno, do estado de sua superfície, da sua cobertura vegetal e do seu teor de umidade. Em geral, os solos e rochas mais permeáveis apresentam maior capacidade de infiltração, favorecendo a rápida percolação da água para o lençol subterrâneo, reduzindo o escoamento superficial direto na bacia.

A cobertura vegetal sua influência à natureza geológica dos terrenos, condicionando a maior ou menor rapidez do escoamento superficial. A sua influência exerce-se na taxa de evaporação da bacia atuando como regularizadora de caudais, sobretudo nos climas secos. No caso de grandes cheias com elevados caudais a sua ação é, no entanto, praticamente nula. Além de desempenhar papel importante e eficaz contra a erosão dos solos.

Os estudos das características geológicas levam em conta o nível de permeabilidade dos solos e subsolos, dada a influência que têm na rapidez de crescimento das cheias. A existência de terrenos quase, ou totalmente, impermeáveis, impede a infiltração facilitando o escoamento superficial e originando cheias de crescimento repentino. Já os terrenos permeáveis ocasionam o retardamento do escoamento devido à infiltração, amortecendo as cheias.

A impermeabilização de bacias urbanas não está restrita à superfície: os canais de drenagem são normalmente revestidos com concreto, de modo a aumentar a capacidade de escoamento da seção transversal do canal e remover rapidamente as águas pluviais. O revestimento de canais é muito criticado, já que este tipo de obra transfere os problemas de enchentes de áreas a montante do canal para áreas a jusante.

O transporte de sedimentos é outra característica de uma bacia hidrográfica. A existência de maior ou menor transporte de sedimento, depende da natureza geológica dos terrenos. O seu conhecimento é fundamental, visto que a erosão e sedimentação das partículas alteram a topografia do leito do rio.

2.5. Sistema de Informação Geográfica (SIG) - Análise de Multicritério

A Análise de Multicritério é um procedimento metodológico de cruzamento de variáveis amplamente aceito nas análises espaciais. Baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação e de cada um de seus componentes de legenda para a construção do resultado final (Moura, 2007).

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) têm-se tornado, nas ultimas décadas, uma ferramenta valiosa nas mais diversas áreas do saber. Tais sistemas constituem um ambiente tecnológico e organizacional que tem, cada vez mais, ganho adeptos no mundo todo não só para as análises geográficas, como as demais ciências, a exemplo, da Medicina, Geologia, Pedologia, Biologia (ecologia), etc, caracterizado como uma ferramenta Multidisciplinar (Coelho, 2007).

Segundo Negreiros (2003) com a popularização das técnicas de geoprocessamento e dos SIG, o tratamento digital das informações topográficas foi viabilizado. As superfícies contínuas (Modelos Numéricos do Terreno - MNT) que representam os dados de altimetria, denominadas de Modelos Digitais de Elevação (MDE), partindo-se do MDE através de uma série de operações automáticas pode se extrair inúmeras variáveis ligadas ao relevo. Assim, Burrough & Mcdonnell (1998 *apud* Negreiros, 2003), descrevem algumas variáveis que podem ser calculadas a partir de um MDE. Tabela 2

Tabela 2 - Variáveis extraídas a partir do MDE, adaptada de Burrough & McDonnell, (1998 *apud* Negreiros, 2003).

Variável	Definição	Aplicações
Elevação	Elevação em relação ao nível do mar	Determinar o potencial de energia, variável climática, vegetação, classes do solo, etc.
Declividade	Grau de declive da elevação	Cálculo de escoamento da água, erosão, transporte de sedimentos, classificar o uso da terra, etc.
Curvatura (horizontal e vertical)	Grau de curvatura horizontal e vertical	Propriedades do solo, escoamento da água, etc – curvatura horizontal. Velocidade do escoamento, zonas de erosão e deposição, etc – curvatura vertical.

Um SIG, conforme Alves (1993 *apud* Sá, 2001), pode ser definido como uma ferramenta computacional (software) criada especialmente para armazenamento e manipulação de dados e informações espacialmente distribuídos em um computador. Mais do que um sistema de apresentação e processamento de dados, ele possui módulos para a realização de operações analíticas, sobreposição e cruzamento de informações. O banco de dados permite a associação de atributos e a realização de consultas, permitindo a análise e modelagem de informações espacialmente distribuídas.

O que caracteriza um SIG é a integração numa única base de dados espaciais provenientes de dados cartográficos, dados de censo e cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno entre outros, oferecendo mecanismos para combinar essas informações através de módulos de manipulação e análise, que permitem

consultas, recuperação e visualização do conteúdo de bases de dados, além da geração de mapas (Sá, 2001).

Os SIGs possuem em seus sistemas um conjunto de ferramentas que geram informações necessárias a tomada de decisão, dentre elas a análise multicritério (Silva *et al.*, 2009). A análise multicritério é definida como um conjunto de técnicas e métodos aplicados para auxiliar ou apoiar o processo de tomada de decisões, dada uma multiplicidade de critérios, estabelecendo uma relação de preferências entre as alternativas pré-avaliadas (Almeida e Costa, 2003 *apud* Silva *et al.*, 2009).

Moura (2007) descreve que o procedimento de análise de multicritérios se baseia justamente na lógica básica da construção de um SIG: seleção das principais variáveis que caracterizam um fenômeno, já realizando um recorte metodológico de simplificação da complexidade espacial; representação da realidade segundo diferentes variáveis, organizadas em camadas de informação; discretização dos planos de análise em resoluções espaciais adequadas tanto para as fontes dos dados como para os objetivos a serem alcançados; promoção da combinação das camadas de variáveis, integradas na forma de um sistema, que traduza a complexidade da realidade; finalmente, possibilidade de validação e calibração do sistema, mediante identificação e correção das relações construídas entre as variáveis mapeadas.

2.6. Caracterização geral de Belo Horizonte

2.6.1. Bacia do ribeirão Arrudas e bacia do ribeirão do Onça

O município de Belo Horizonte destaca-se por apresentar no seu território duas bacias principais, a bacia do ribeirão Arrudas e a bacia do ribeirão do Onça, as quais deságuam no Rio das Velhas. A bacia do ribeirão Arrudas situa-se ao sul e a bacia do ribeirão do Onça ao norte do município. (Figura 15)

FIGURA 14
SITUAÇÃO DA MACRODRENAGEM EM BELO HORIZONTE E CONTAGEM

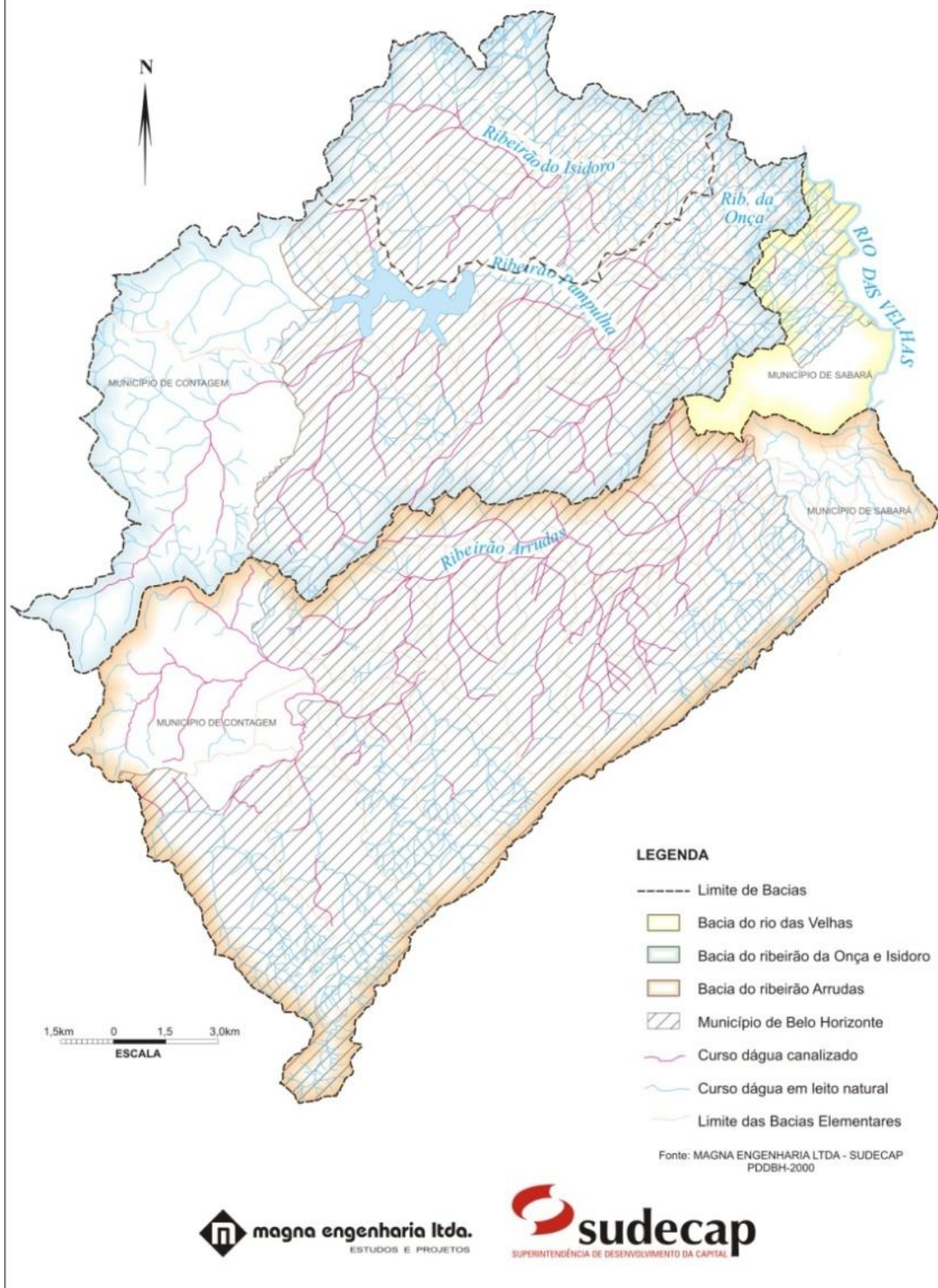


Figura 15: Bacias hidrográficas do Município de Belo Horizonte e Contagem. Fonte: Sudecap/PBH, 2009.

A bacia do ribeirão do Arrudas apresenta uma área de 208,47 km² e extensão total de 47km, englobando os municípios de Contagem, Belo Horizonte e Sabará. Em Belo Horizonte apresenta uma extensão de 44,7 km. (Projeto Manuelzão, 2009)

Observa-se que a bacia do Ribeirão Arrudas caracteriza-se por rede de drenagem com padrão semelhante ao paralelo e forma elíptica a ramificada (definição de Christofolletti, 1980), em praticamente toda a sua porção sul, influenciada pela elevação da Serra do Curral. É formada por conjunto de sub-bacias alongadas que convergem para um mesmo curso principal.

A Bacia do Ribeirão do Onça tem cerca de 19 km de comprimento cortando a área mais urbanizada da bacia Rio das Velhas. É o ribeirão que mais polui o Rio das Velhas, abrangendo uma área de 212 km². O Ribeirão nasce em Contagem e deságua no Rio das Velhas em Santa Luzia. (Projeto Manuelzão, 2009)

A Bacia do Ribeirão do Onça apresenta rede de drenagem próxima ao padrão dendrítico, enquanto que os cursos d'água apresentam padrão fluvial meandrante de baixa sinuosidade, caracterizando-se por ser uma bacia circular a ramificada. Encontra-se em altitudes variando entre 850 a 680m. São áreas de relevo predominantemente de colinas de topo plano a convexo variando com encostas de características côncava-convexas, formadas pela dissecação fluvial das áreas gnáissicas.

Aproximadamente, 85% da área das duas bacias (Onça e Arrudas) estão inseridas no município de BH. O restante das áreas abrange os municípios de Contagem, Sabará e Santa Luzia. A bacia do ribeirão do Onça está totalmente sobre os terrenos do Complexo Belo Horizonte e a bacia do ribeirão Arrudas ocorre sobre os terrenos do Complexo Belo Horizonte em sua porção norte e sua porção sul está inserida na área de Seqüência Metassedimentar do Supergrupo Minas.

2.6.2 Geologia de Belo Horizonte e das bacias ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça

A região Metropolitana de Belo Horizonte apresenta excepcional variedade do ponto de vista de sua constituição geológica. Maior parte da área de estudo localiza-se na região geologicamente conhecida como Quadrilátero Ferrífero (QF). Quatro grandes unidades compõem o QF: o embasamento granito-gnáissico de idade arqueana; seqüências metavulcano-sedimentares do Supergrupo Rio das Velhas (SGRV), também arqueano; seqüências meta-sedimentares paleoproterozóicas do Supergrupo Minas (SGM) e meta-sedimentos do Grupo Itacolomi.

As unidades acima citadas são cortadas por diques básicos, veios pegmatíticos e veios de quartzo, estes últimos abundantes em todas as seqüências litológicas. Depósitos terciários e quaternários ocorrem como sedimentos lacustres, aluvionares, depósitos de tálus, colúvios e canga.

O município de Belo Horizonte foi mapeado na escala de 1:25.000 por Silva *et al.* (1995), servindo este mapeamento como base para o plano diretor municipal. Pode-se dizer que no município ocorre a distinção entre as rochas do domínio do Complexo Belo Horizonte, as rochas do domínio metassedimentar e as coberturas e manto de intemperismo (Figura 16).

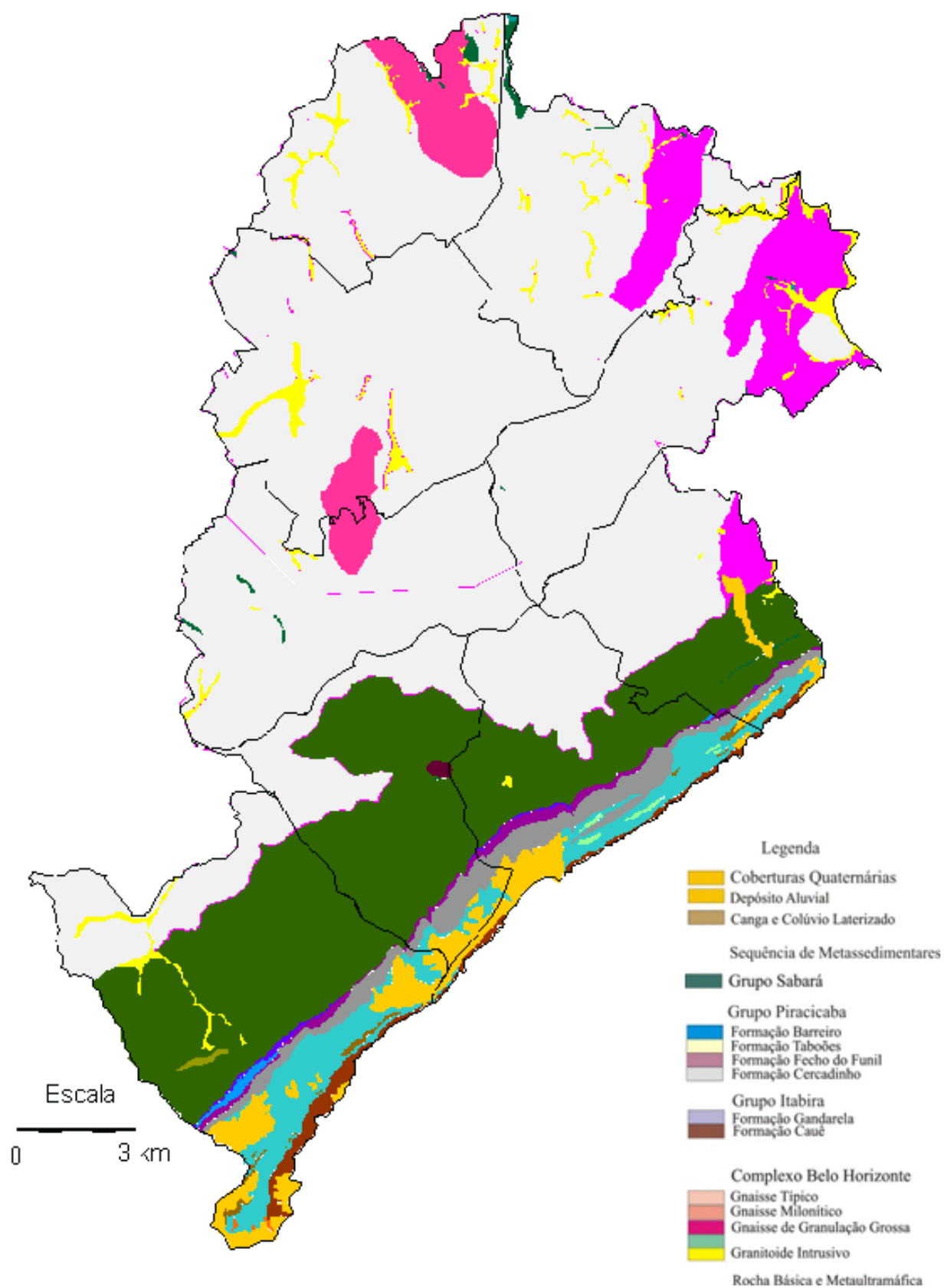


Figura 16: Mapa geológico de Belo Horizonte – Modificado de Parizzi (2004)

a) Domínio do Complexo Belo Horizonte

Sob esta denominação agrupam-se as rochas gnáissicas arqueanas, parcialmente remobilizadas e migmatizadas no Paleoproterozóico, constituindo cerca de 70% do território municipal, têm sua área de maior expressão a norte da calha do ribeirão Arrudas. A litologia predominante é um gnaiss cinzento, com bandamento composicional e feições de migmatização (Gnaiss Belo Horizonte). Estas rochas apresentam-se, via de regra, saprolitizadas ou muito alteradas e/ou recobertas por manto de intemperismo silto-argiloso de coloração rosa claro a avermelhado. Exposições de rocha são encontradas em algumas regiões, formando lajedos em terrenos elevados ou em talvegues.

b) Seqüência Metassedimentar

Distribuído a sul da calha do ribeirão Arrudas, em extensa faixa de direção geral NE-SW, o Supergrupo Minas estende-se até os patamares mais elevados da serra do Curral, constituindo cerca de 30% do território de Belo Horizonte. Caracteriza-se pela sucessão de rochas paleoproterozóicas metassedimentares (subordinadamente metavulcânicas), com mergulho preferencial para sudeste, integrantes dos grupos Itabira, Piracicaba e Sabará.

A seqüência forma uma estrutura monoclinal invertida, que coloca os metassedimentos do Grupo Sabará em contato tectônico com as rochas gnáissicas do Complexo Belo Horizonte, marcado por intensa deformação cisalhante tanto dos metassedimentos quanto das rochas gnáissicas. As rochas da seqüência metassedimentar apresentam comportamento bastante diferenciado em termos de: natureza e espessura do solo e dos produtos de alteração; propriedades hidrogeológicas, controladas pela litologia e pelos arranjos texturais e estruturais; características de resistência variável, conforme a camada estratigráfica. Predomina, em consequência, a diversidade de comportamento geotécnico, reflexo da diversidade litoestrutural e estratigráfica (Silva *et al.*,1995).

Grupo Itabira

É constituído predominantemente de rochas metassedimentares de origem química, cujas litologias características estão representadas por itabiritos silicosos da Formação Cauê, na base do Grupo e dolomitos da Formação Gandarela, no topo. O contato entre essas unidades é gradacional e de difícil demarcação, sobretudo entre o itabirito da Formação Cauê e o itabirito dolomítico da base da Formação Gandarela. Esta zona gradacional ocorre próximo ao terço superior da serra do Curral (Silva *et al.*,1995).

Grupo Piracicaba

Adota-se aqui a subdivisão do Grupo Piracicaba em quatro formações (Silva *et al.*, 1995): Cercadinho, Fecho do Funil, Taboões e Barreiro.

No território de Belo Horizonte ocorrem todas as unidades deste grupo, mas apenas as formações Cercadinho e Fecho do Funil são contínuas, sendo as duas unidades de topo, Taboões e Barreiro descontínuas e pouco espessas.

A Formação Cercadinho constitui a base do Grupo Piracicaba, composta de metassedimentos depositados em discordância erosiva sobre a Formação Gandarela. A unidade é de fácil reconhecimento no campo, possuindo as seguintes características: estratos de espessura centimétrica a métrica de quartzito cinza, hematítico, intercalando-se com camadas de filito cinza prateado, também hematítico. As camadas têm direção NE-SW e mergulho para SE. Nas áreas de ocorrência da Formação Cercadinho o solo é ausente a pouco espesso. O filito aflorante apresenta-se alterado e com coloração cinza amarelado a avermelhado; o quartzito, nestas condições, mostra-se com as camadas superficiais bastante friáveis.

A Formação Fecho do Funil é constituída predominantemente por filito sericítico e filito dolomítico com lentes de dolomito subordinadas. Ao longo de toda a faixa de afloramento, os filitos apresentam-se bastante intemperizados, adquirindo coloração cinza rosado a rosa. O contato com a Formação Cercadinho é gradacional e com a Formação Taboões é brusco.

A Formação Taboões tem ocorrência expressiva apenas na porção sudoeste do município de Belo Horizonte. É constituída de quartzito puro, branco a amarelo claro, de granulação fina a muito fina e não estratificado. A base da formação tem contato brusco com os filitos da Formação Fecho do Funil. No topo o contato com os filitos da Formação Barreiro é gradacional.

Assim como a Formação Taboões, a Formação Barreiro é mais expressiva apenas na porção sudoeste do município de Belo Horizonte e, às vezes, ocorre em camadas pouco espessas em outras localidades. É facilmente reconhecida pela presença de camadas de filito preto, carbonoso, com estrutura fina e continuamente laminada. O contato com a Formação Taboões é gradacional e com os filitos do Grupo Sabará sobrejacente, é discordante.

Grupo Sabará

O Grupo Sabará, ao sul do município de Belo Horizonte, presente na bacia do ribeirão Arrudas, é constituído predominantemente de xistos e filitos muito intemperizados, de coloração rosa a amarela. Esta é a unidade mais espessa do Supergrupo Minas em Belo Horizonte, podendo alcançar 3.000m de espessura.

2.6.3. Relevo de Belo Horizonte

A Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH) mostra uma fisiografia diversificada e estreitamente vinculada às propriedades geológicas de seu substrato conforme descrito em Parizzi (2004), Silva *et al.* (1995). Nas áreas estudadas, dois domínios geológicos são identificáveis e duas unidades geomorfológicas também são apontadas, a Depressão de Belo Horizonte e o Quadrilátero Ferrífero (Q.F.).

A maior parte do município de Belo Horizonte localiza-se na Depressão de Belo Horizonte, do tipo periférica, que é uma zona rebaixada, delimitada, no lado sul, pelas bordas abruptas de um maciço antigo (Q.F.), e, no lado norte, pelo relevo pouco pronunciado das bordas de uma bacia sedimentar. No caso de Belo Horizonte estes limites correspondem, respectivamente, à Serra do Curral a sudeste e às superfícies aplainadas do domínio das rochas carbonáticas e pelíticas do Grupo Bambuí, a norte.

Na Depressão de Belo Horizonte predominam as colinas de topos planos a arqueados, com encostas côncavo-convexas e altitudes entre 800 - 900 m, formadas pela dissecação fluvial das áreas gnáissicas promovida pela rede de drenagem dos rios das Velhas e Paraopeba.

De acordo com Baumgratz (1988), localmente o eixo de drenagem do município é representado pelo ribeirão Arrudas. As cotas mínimas deste compartimento situam-se na faixa dos 680m-690m e as máximas em torno dos 1000 m.

O sistema de drenagem percorre amplos vales de fundo chato, resultantes da acumulação de sedimentos aluviais. Em muitos locais, os cursos d'água adquirem padrões ortogonais, manifestando o condicionamento da drenagem à estrutura do substrato.

Espigões alongados segundo direção N-S ou E-W destacam-se na paisagem, mas suas altitudes são inferiores à altitude média do domínio metassedimentar (acima de 1.000m). Diferentemente da maior parte das colinas, os espigões apresentam encostas com declividades médias e altas, muito vulneráveis ao escoamento torrencial (Silva *et al.*, 1995). Frequentemente ocorrem anfiteatros de encostas côncavas e drenagem convergente e nichos resultantes da estabilização de antigas voçorocas.

O compartimento geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero corresponde a uma fisiografia serrana que denota a íntima relação entre os atributos geológicos (litologia e estrutura) e as formas de relevo (Silva *et al.*, 1995). As camadas de itabirito (Formação Cauê), protegidas da erosão pelas couraças ferruginosas, constituem a linha de crista e o terço superior da escarpa sub-vertical da Serra do Curral. As altitudes superam os 1.300 m, podendo chegar a 1500 m como no pico do Rola Moça, limite sudoeste do município de Belo Horizonte. Esta unidade exerceu papel fundamental na evolução do relevo de Belo Horizonte, limitando a extensão dos processos erosivos que moldaram a depressão periférica de Belo Horizonte, a norte.

Rochas pouco resistentes ao intemperismo, como os dolomitos e filitos dolomíticos da Formação Gandarela, dão origem a áreas aplainadas ou deprimidas, com espessa cobertura laterítica. Localmente, processos de carstificação podem ter sido responsáveis por tais feições. Na Serra do Curral, a Formação Gandarela constitui os dois terços inferiores da escarpa, com dolomito aflorante em paredões que mergulham para sudeste.

A Formação Cercadinho constitui uma faixa de serras com linhas de cristas de altitudes entre 1.100 m e 1.240 m. A direção das serras é NE-SW, aproximadamente paralela à crista da Serra do Curral. O relevo caracteriza-se por uma sucessão de cristas, constituídas por quartzitos intercalados com patamares suavizados de filitos. Cabeceiras em anfiteatro com paredes escarpadas podem ocorrer em algumas localidades.

Filitos da Formação Fecho do Funil são geralmente pouco resistentes ao intemperismo e transformam-se num saprolito de menor erodibilidade do que as formações Cercadinho e Taboões. O relevo tende a ser rugoso e mais suave do que o resultante daquelas formações. Espigões flanqueados por feições côncavas do tipo anfiteatro e morrotes com declividades às vezes acentuadas, ocorrem em áreas de filitos e xistos do Grupo Sabará.

2.6.4 Clima

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 começam 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 Belo Horizonte.

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.

Capítulo III

3. Métodos

Para alcançar os objetivos propostos nesta pesquisa foram seguidas as etapas descritas, que abrangem os procedimentos metodológicos e o levantamento de materiais necessários para a execução deste trabalho.

3.1 Análise geral das bacias do ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça de Belo Horizonte.

A análise geral, quanto à susceptibilidade a formação de enxurradas, das bacias principais de Belo Horizonte (ribeirão do Arrudas e Onça) realizou-se a partir da elaboração dos mapas de declividade e curvatura. Para execução destes mapas utilizou de curvas de nível com espaçamento de 5 m aplicadas no programa Arc Gis 9.3.

Para a bacia do ribeirão Arrudas os mapas de declividade e curvatura foram reclassificados adotando-se os valores de 0 a 10, conforme descrito nas tabelas 3 e 4. Assim, gerou-se o mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia do ribeirão Arrudas segundo a declividade e a curvatura. Além destes mapas, elaborou-se o mapa hipsométrico da bacia.

Tabela 3: Valores adotados para reclassificação da declividade

Declividade (em graus)	Valores adotados
0 - 7	2
7 - 17	6
17 -32	8
>32	10

Tabela 4: Valores adotados para reclassificação da curvatura

Superfícies de curvatura	Valores adotados
Convexo	1
Plano	6
Côncavo	10

Para a bacia do ribeirão do Onça os mapas de declividade e curvatura não foram cruzados e reclassificados, conforme realizado para a bacia do ribeirão Arrudas. Também para esta bacia elaborou-se o mapa hipsométrico. A partir da análise destes mapas, foi possível verificar algumas áreas passíveis à formação de enxurradas.

3.2 Definição da área de estudo

A área de estudo, a sub-bacia do córrego do Leitão, foi definida a partir da Carta de Inundação, dos jornais impressos e televisivos e as visitas de campo na bacia do ribeirão Arrudas.

A Carta de Inundação de Belo Horizonte (SUDECAP/PBH, 2009) apresenta as manchas ou locais de inundação dentro do município. Esta Carta representa os locais onde os processos hidrológicos, como enchentes e inundações, ocorrem com maior frequência durante o período de chuva. Este material foi cedido pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente/ Prefeitura Municipal de Belo Horizonte.

As notícias referentes aos processos de enchentes, inundações, alagamentos e enxurradas foram acompanhadas durante o período de estudo 2008/2009 e 2009/2010. Através dos jornais impressos e televisivo e a própria internet verificou-se os locais onde as chuvas atuavam de forma mais intensa e em alguns momentos ocorriam destrutivamente.

Durante o período de estudo quatro foram às visitas realizadas na bacia do ribeirão Arrudas, dentre elas, uma em especial ocorreu na sub-bacia do córrego do Leitão.

A primeira visita de campo ocorreu no dia 17 de dezembro de 2008, na bacia do ribeirão Arrudas, próximo a ETE Arrudas, bairro Caetano Furquim. Em seguida, no dia 17 de fevereiro realizou-se outra visita na Avenida Tereza Cristina, onde foram verificados os danos causados pela inundação ocorrida nesta área na virada do ano de 2008 para 2009 (Figura 17).



Figura 17: Rompimento do muro de gabião após chuva de 31 de dezembro de 2008. Avenida Tereza Cristina.

A terceira visita abrangeu todo ribeirão Arrudas dentro do município de Belo Horizonte. Esta visita fez parte da participação da Caminhada (Re) Conhecendo o Arrudas promovida pelo Projeto Manuelzão no dia 03 de maio de 2009. Através da caminhada observaram-se os pontos onde ocorreram as inundações ocorridas no período chuvoso.

A última visita ocorreu na área de estudo deste projeto, a sub-bacia do córrego do Leitão. Esta visita realizou-se em outubro de 2010, onde foi verificado e confirmado os locais de altas declividades e a existência de uma concavidade da rua Joaquim Murtinho, local, este, levantado pela SUDECAP/PBH (2009) como área de inundação.

Além disso, ressalta-se que na sub-bacia do córrego do Leitão foi construída uma barragem, a barragem de Santa Lúcia, com o objetivo de conter as inundações no local. Mesmo após a sua construção, à jusante da mesma, houve recorrência de eventos hidrológicos durante o período chuvoso na bacia. A barragem conseguiu conter, por alguns anos, as enxurradas no local e evitar acidentes, entretanto, há cerca de cinco anos estes processos voltaram a ocorrer resultando em graves acidentes.

3.3. Análise das características físicas e antrópicas da sub-bacia do córrego do Leitão

As características físicas e antrópicas da sub-bacia do córrego do Leitão analisadas, foram a declividade, curvatura, uso e ocupação, respectivamente.

Para realizar esta análise das características, mapas foram elaborados e avaliados utilizando a análise de Multicritérios.

Neste estudo, foram elaborados três mapas – declividade, curvatura e de áreas impermeáveis e áreas verdes (uso e ocupação) –, como mapas bases para a confecção do mapa final que é o mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da sub-bacia do córrego do Leitão.

Para se obter o mapa final, foi realizado o cruzamento dos três mapas bases. Este cruzamento é feito atribuindo-se pesos para cada fator (característica) estudado nesta sub-bacia (declividade, curvatura e de áreas impermeáveis e áreas verdes), sendo que, a soma desses fatores devem resultar em 100%. Os fatores receberam pesos iguais de 33,3% cada, e notas variando de 0 a 10. As notas foram atribuídas considerando que quanto menor a nota, mais baixa é a susceptibilidade à formação de enxurradas, e caso ao contrário, quanto maior a nota, mais alta é a susceptibilidade à formação de enxurradas na sub-bacia do córrego do Leitão.

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-se a ferramenta *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. Considerou-se para as áreas impermeáveis as áreas urbanizadas, enquanto que, as áreas verdes, os parques e lotes vagos.

Logo após a confecção dos mapas, estes foram reclassificados adotando valores 0 a 10 de acordo com a importância para a formação de enxurradas, conforme a Tabela 5. Para reclassificá-los utilizou-se a ferramenta *Reclassify* em *Spatial Analyst*.

Para a declividade foram adotados valores de acordo com a descrição de Guimarães (2008), que afirma que um solo de baixa declividade apresenta escoamento com baixa velocidade e, conseqüentemente, a capacidade de transporte fica limitada à vazão de escoamento. Além disso, as enxurradas, como relatado na revisão bibliográfica, são características de chuvas intensas e concentradas e de escoamento rápido e intenso.

As classes de curvatura foram valoradas conforme Veira & Stabile (2008), que consideraram valores negativos como côncava, positivo como convexo e valores próximos de zero como curvatura retilínea. Estas valorações também foram utilizadas por Moreira *et*

al. (1998), que descrevem que quando uma vertente apresenta seus ângulos de declividade constante, têm uma curvatura retilínea, quando os ângulos aumentam continuamente para baixo, têm uma curvatura positiva (convexa) e, finalmente, quando ocorre dos ângulos decrescerem para baixo têm uma curvatura negativa (côncava).

A elaboração dos mapas base permitiu quantificar, em porcentagem, as áreas verdes e impermeáveis. Como resultado, a bacia em estudo apresenta 88% de áreas impermeáveis e 12% de áreas verdes, o que justifica a valoração maior para áreas impermeáveis como mostrado na tabela 6.

Para as áreas verdes foram consideradas a geologia correspondente a cada local e assim feita a valoração para cada uma. A determinação dos valores para cada tipo litológico está de acordo com a característica de permeabilidade que possui. Silva *et al.* (1995) descreve 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 adotaram-se valores baixos para as áreas que apresentam 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, diferenciando-os pela predominância de rochas e solos mais permeáveis. Assim, adotam-se os valores entre 3 e 5 para classificar os tipos litológicos presentes nas áreas verdes descritas (Tabela 6). O grupo Sabará constituído de xistos e filitos, não apresenta boa permeabilidade, o que faz com que seja considerado um aquífero de baixo potencial de armazenamento da água subterrânea. Assim, adotou-se o valor 7, já que representa uma área mais impermeável quando comparada com as demais geologia dentro da bacia.

Tabela 5: 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	10
	Plano	6
	Convexo	1
Uso e Ocupação do Solo	Áreas Verdes	3,4,5,7*
	Áreas Impermeáveis	10
* Ver Tabela 4		

Tabela 6: Valores adotados para a geologia das áreas verdes

Geologia (áreas verdes)	*Valores atribuídos
Depósitos Quartenários	3
Complexo BH	3
Fm. Cercadinho	4
Fm. Fecho do Funil e Barreiro	4
Fm. Gandarela	5
Grupo Sabará	7

Como resultado da análise de Multicritério obteve-se um mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas que foi reclassificado de acordo com a tabela 7 em quatro classes.

Tabela 7: 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

3.4. Análise do Mapa de Direção de Fluxo

A direção de fluxo de água na rede de drenagem é obtida utilizando-se a ferramenta “flow direction”, que gera uma grade regular definindo as direções de fluxo, tomando-se por base a linha de maior declividade do terreno. Dessa maneira, um mapa de direção de fluxo é gerado a partir de um modelo digital de elevação, que possibilita a observação da direção do escoamento de água nas vertentes, além da visualização do relevo (Sobrinho *et al.*, 2010).

3.5. Correlação da Carta de Inundação (SUDECAP/PBH, 2009) com o Mapa Final

As manchas de inundação, descritas na Carta de Inundação (SUDECAP/PBH, 2009), localizadas na Rua Joaquim Murtinho esquina com a Avenida Prudente de Moraes e entre o cruzamento das Ruas Alvarenga Peixoto, Barbara Heliodora e São Paulo foram vetorizadas.

Inseridas as manchas de inundação nos mapas gerados, foi possível correlacionar se estas áreas estão localizadas próximas a áreas com muito alta a alta susceptibilidade a enxurradas e se as inundações locais são agravadas pelas enxurradas. Assim, foi possível associar as áreas de inundações descritas pela SUDECAP/PBH (2009) às áreas com muito

alta a alta susceptibilidade a formação de enxurradas.

3.6. Correlação entre as taxas pluviográficas e eventos hidrológicos

Para quantificar as taxas de precipitações foram utilizados dados de chuvas coletados por meio do pluviógrafo instalado na área de estudo. Em Belo Horizonte existem 12 pluviógrafos automáticos, cujos dados podem ser adquiridos em tempo real por meio de site eletrônico pertencente a um convênio entre UFMG/IGC e URBEL /PBH. Desta maneira, os dados de precipitação, dos eventos descritos, foram analisados.

O pluviógrafo registra o volume precipitado continuamente no tempo, de onde se 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). Figura 18



Figura 18: Pluviógrafo instalado no Jardim Montanhês, dentro da área da COPASA (Convênio UFMG/URBEL/PBH)

Outro instrumento que também pode ser utilizado para quantificar a precipitação é o pluviômetro. Através deste instrumento pode-se medir a altura de precipitação em determinado intervalo de tempo, geralmente, igual ao dia (quantidade de chuva dado em mm). Os registros são anotados a intervalos regulares, em geral, 24 horas (Santos, 2007).

Tucci *et al.* (1995) recomendam que em toda área urbana seja instalado ao menos, um pluviógrafo, para melhorar a qualidade dos estudos hidrológicos que irão apoiar os projetos de controle de inundação. Sendo assim, a partir da coleta de precipitação é possível determinar qual terreno ou região em uma área urbana poderá ser atingido por

eventos hidrológicos.

Esta correlação também permitiu uma posterior análise sobre as taxas de precipitação necessárias para a 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 dezesseis de março de 2009 na Avenida Prudente de Moraes, onde um carro foi atingido pela enxurrada matando um senhor de 86 anos (Bragon, 2009). A segunda ocorrência descrita, dia 07 de outubro de 2009, atingiu novamente a Avenida Prudente de Moraes, mas sem relato de vítimas. E por último no dia 15 de janeiro de 2010 (Magalhães, 2010) a Rua Joaquim Murtinho esquina com a Avenida Prudente de Moraes também foi atingida, ficando alagada.

Capítulo IV

4. Resultados e Discussões

4.1 Análise geral das bacias do ribeirão Arrudas e ribeirão do Onça de Belo Horizonte

Para a bacia do ribeirão Arrudas os mapas de declividade e curvatura foram reclassificados resultando em mapas que apresentam a susceptibilidade à formação de enxurradas de acordo com cada tema. Após esta reclassificação os dois mapas foram cruzados para a construção do mapa final de susceptibilidade à formação de enxurradas. Além disso, as manchas de inundação da SUDECAP/PBH foram inseridas em todos estes três mapas (Figuras 19, 21e 22).

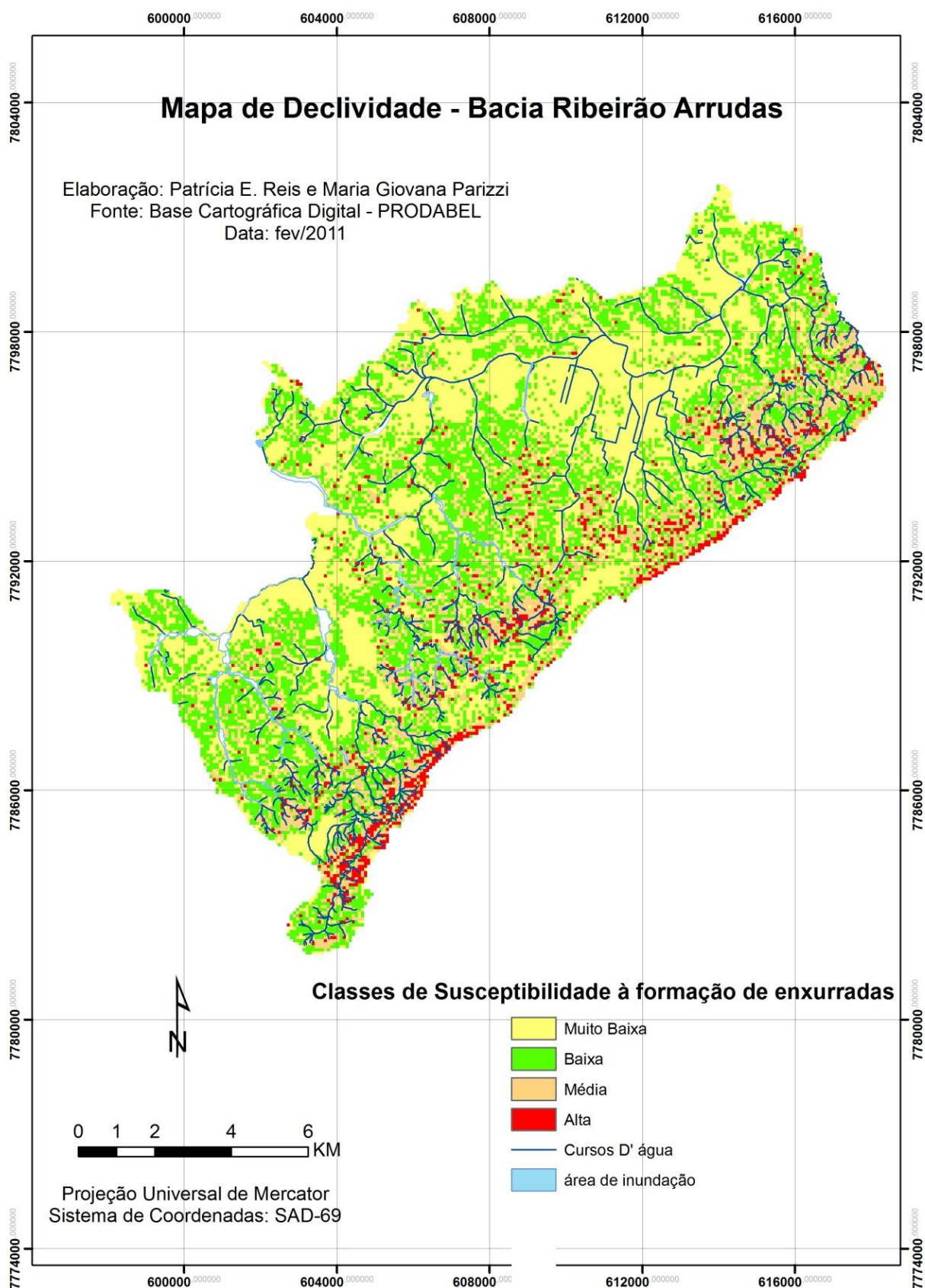


Figura 19: Mapa de declividade bacia ribeirão Arrudas

As declividades e curvaturas resultantes em susceptibilidade alta à formação de enxurradas (Figura 19 e 21) da bacia do ribeirão Arrudas predominam no alinhamento sudoeste – sudeste e em direção ao à porção central da bacia. Estas declividades e curvaturas coincidem com o alinhamento da Serra do Curral e com as áreas de ocorrência das metassedimentares do Supergrupo Minas. O alinhamento da Serra do Curral, a geologia e as maiores elevações (Mapa Hipsométrico – Figura 20) condicionam a forma paralela (perpendiculares à Serra do Curral) das drenagens dos principais afluentes da bacia do ribeirão Arrudas na porção sul, sudoeste e sudeste (Mapa Hipsométrico, Figura 20). A partir disso, pôde-se deduzir que a direção preferencial do escoamento superficial também será condicionada de forma paralela neste trecho.

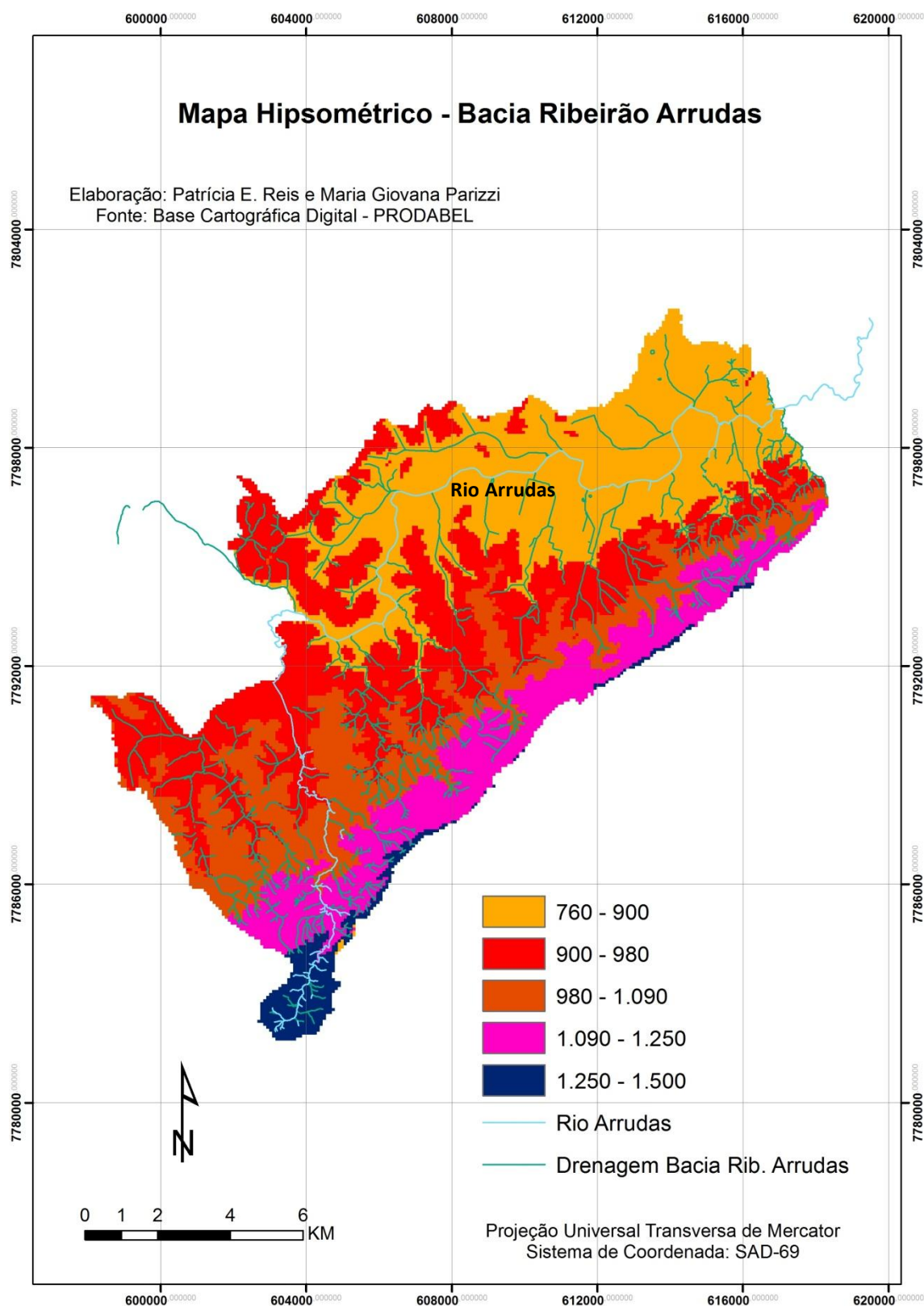


Figura 20: Mapa Hipsométrico da bacia do ribeirão Arrudas. Percebe-se os afluentes principais do lado sul são paralelos e perpendiculares ao alinhamento da Serra do Curral.

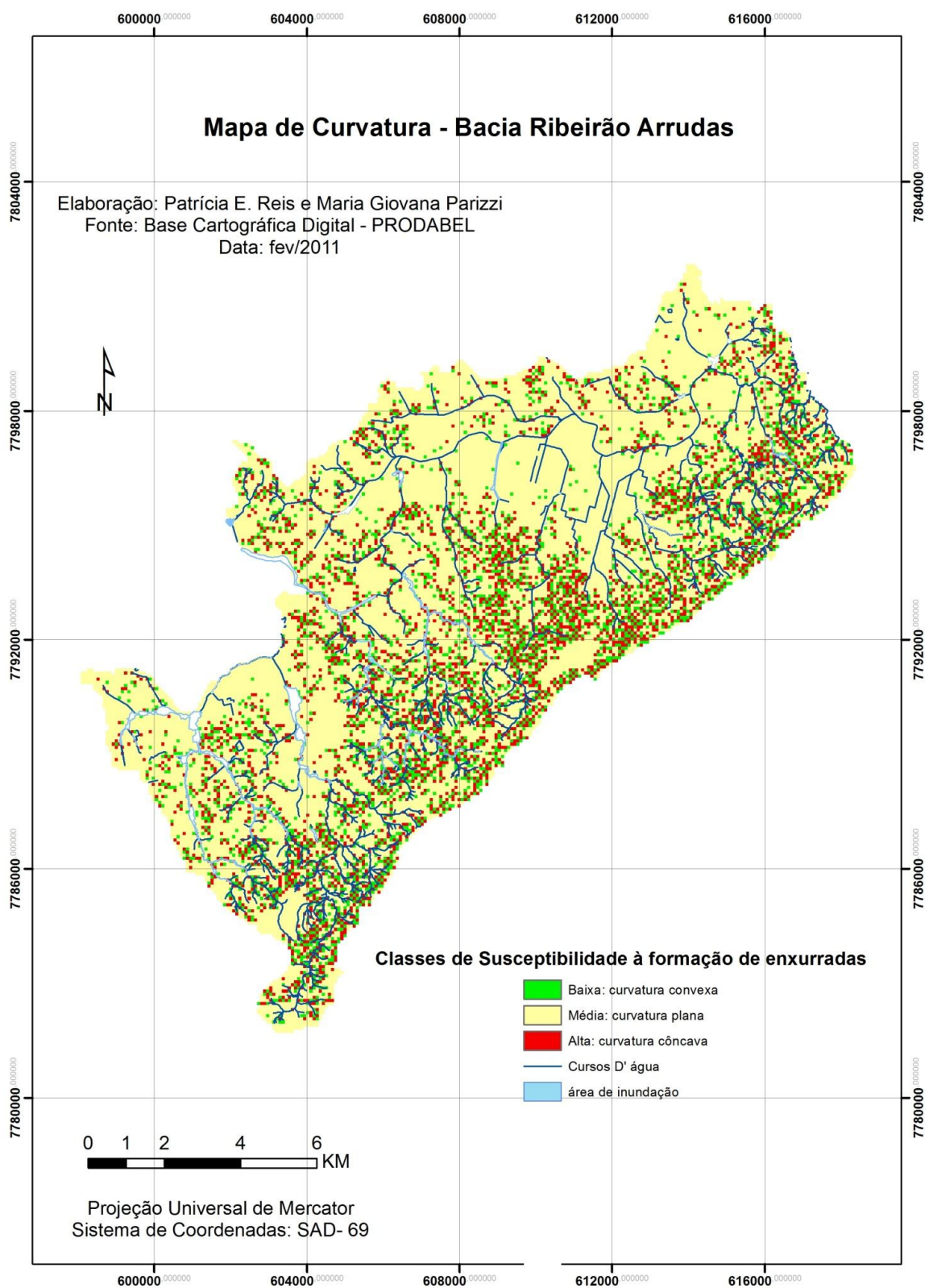


Figura 21: Mapa de curvatura da bacia do ribeirão Arrudas

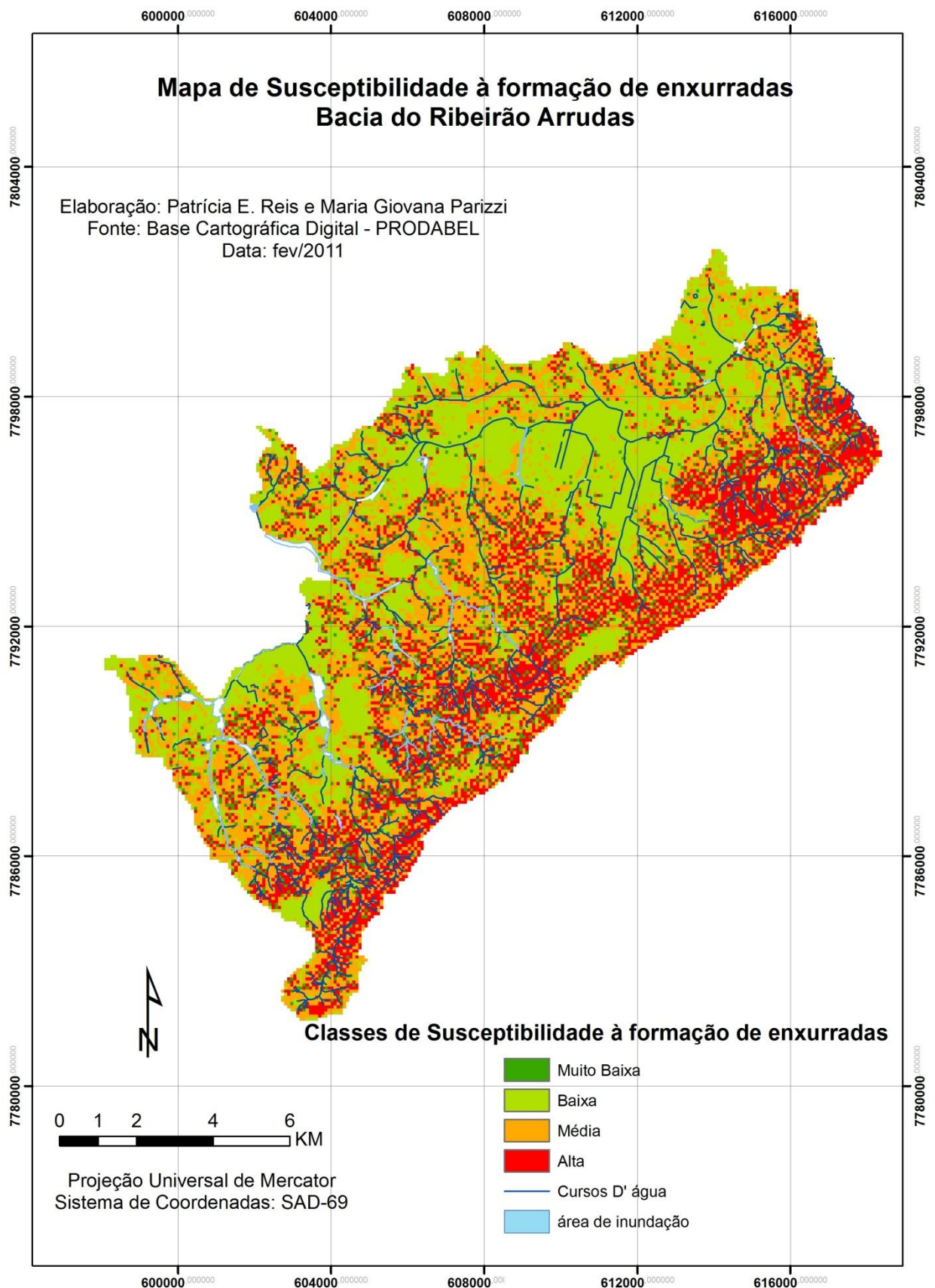


Figura 22: Mapa de Susceptibilidade à formação de enxurradas para a bacia do ribeirão Arrudas baseado no cruzamento dos temas declividade e curvatura.

Após a análise do mapa de susceptibilidade é possível verificar que as áreas de inundação são circundadas pelas áreas de susceptibilidade média a alta ao escoamento superficial. No alto da cabeceira da bacia ribeirão Arrudas, sub-bacias dos córregos Jatobá e Olarias (Figura 23), evidencia-se a forte tendência do escoamento superficial. Nesta região encontra-se, paralela ao ribeirão Arrudas, a Av. Tereza Cristina, local em que houve a enchente e inundação em 31 de janeiro de 2008 durante precipitação de 62,6mm entre às 18hs e 20hs (Figura 27), que teve sérias consequências sociais e econômicas para o município de Belo Horizonte.

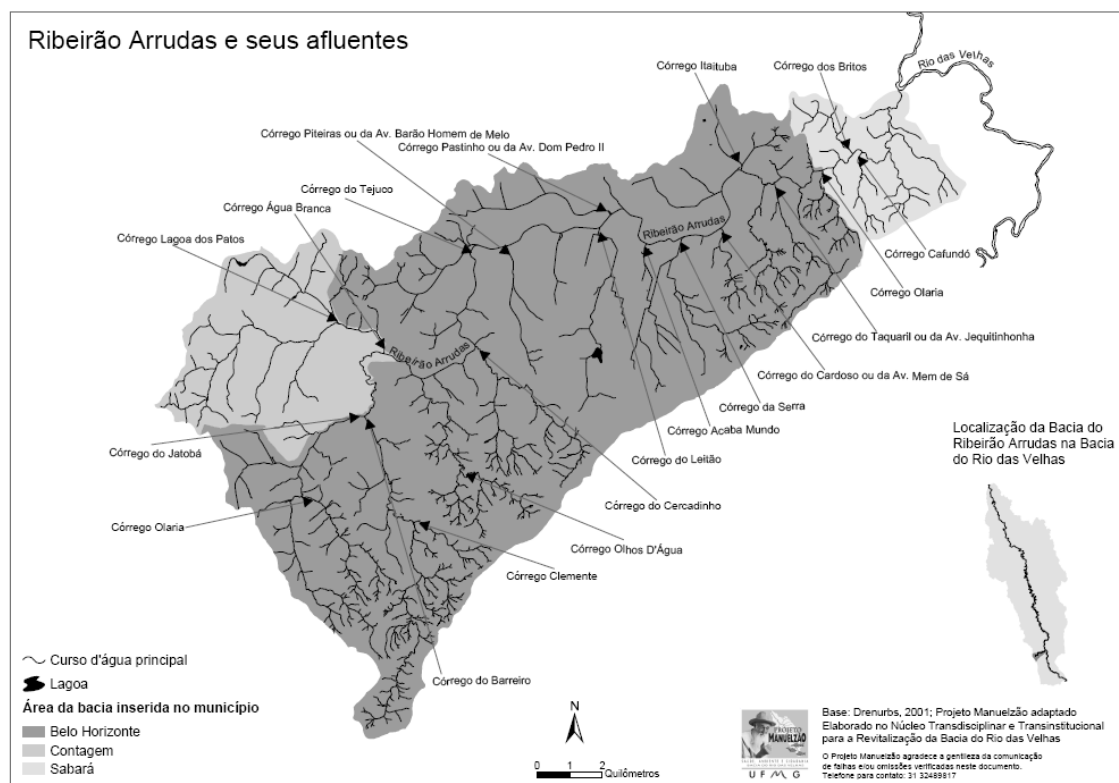


Figura 23: Mapa de localização das drenagens pertencentes à bacia do ribeirão Arrudas.

(Fonte: www.manuelzao.ufmg.br. Acesso em 15/11/2010).

O mapa hipsométrico da bacia do ribeirão do Onça construído a partir de curvas com espaçamento de 5m resultou em mapa com nove classes, apresentando cotas variando entre 675m a 980m. Através da Figura 24 verifica-se também que as áreas mais elevadas concentram-se a sudoeste e noroeste da bacia.

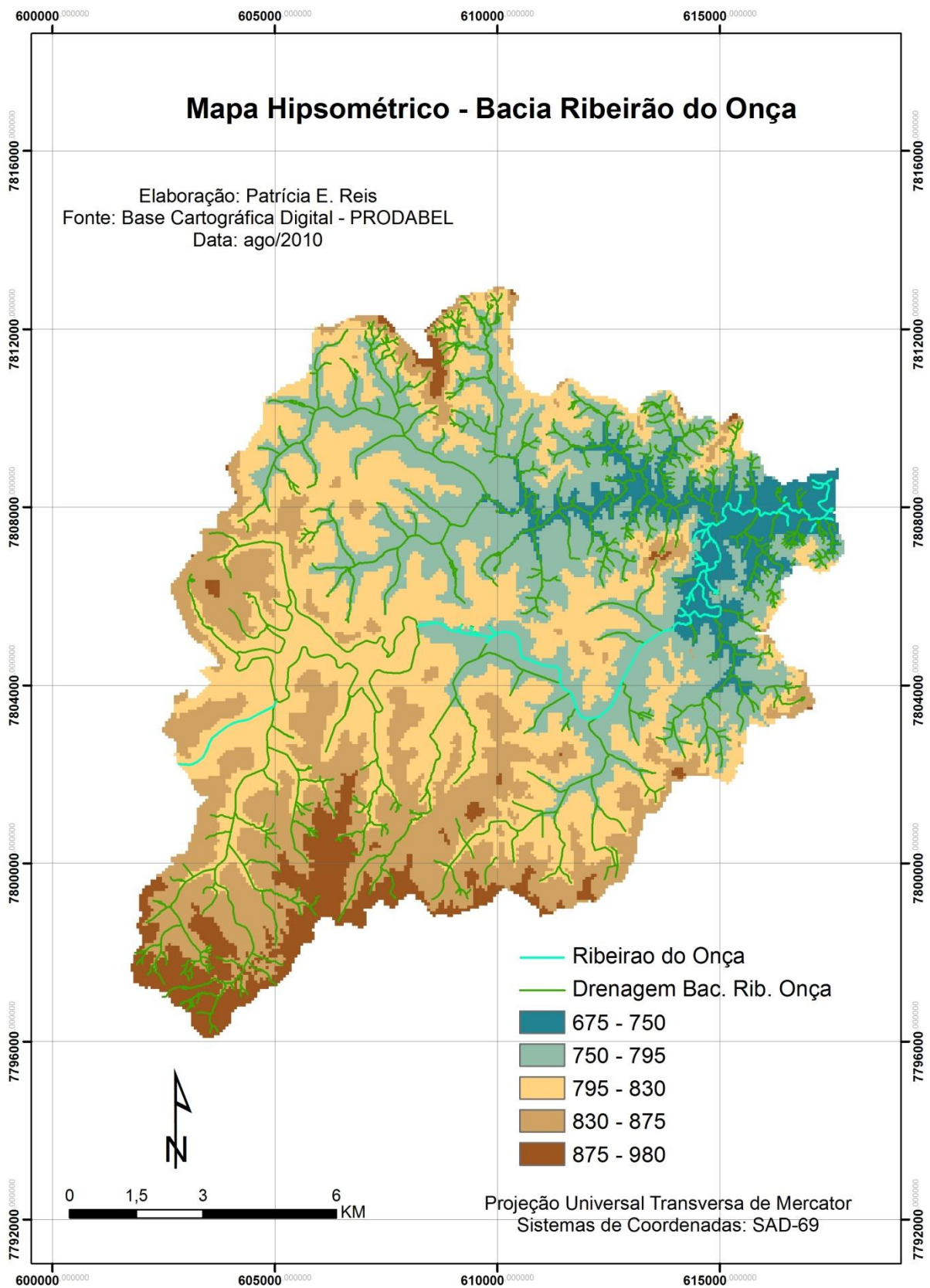


Figura 24: Mapa hipsométrico bacia ribeirão do Onça

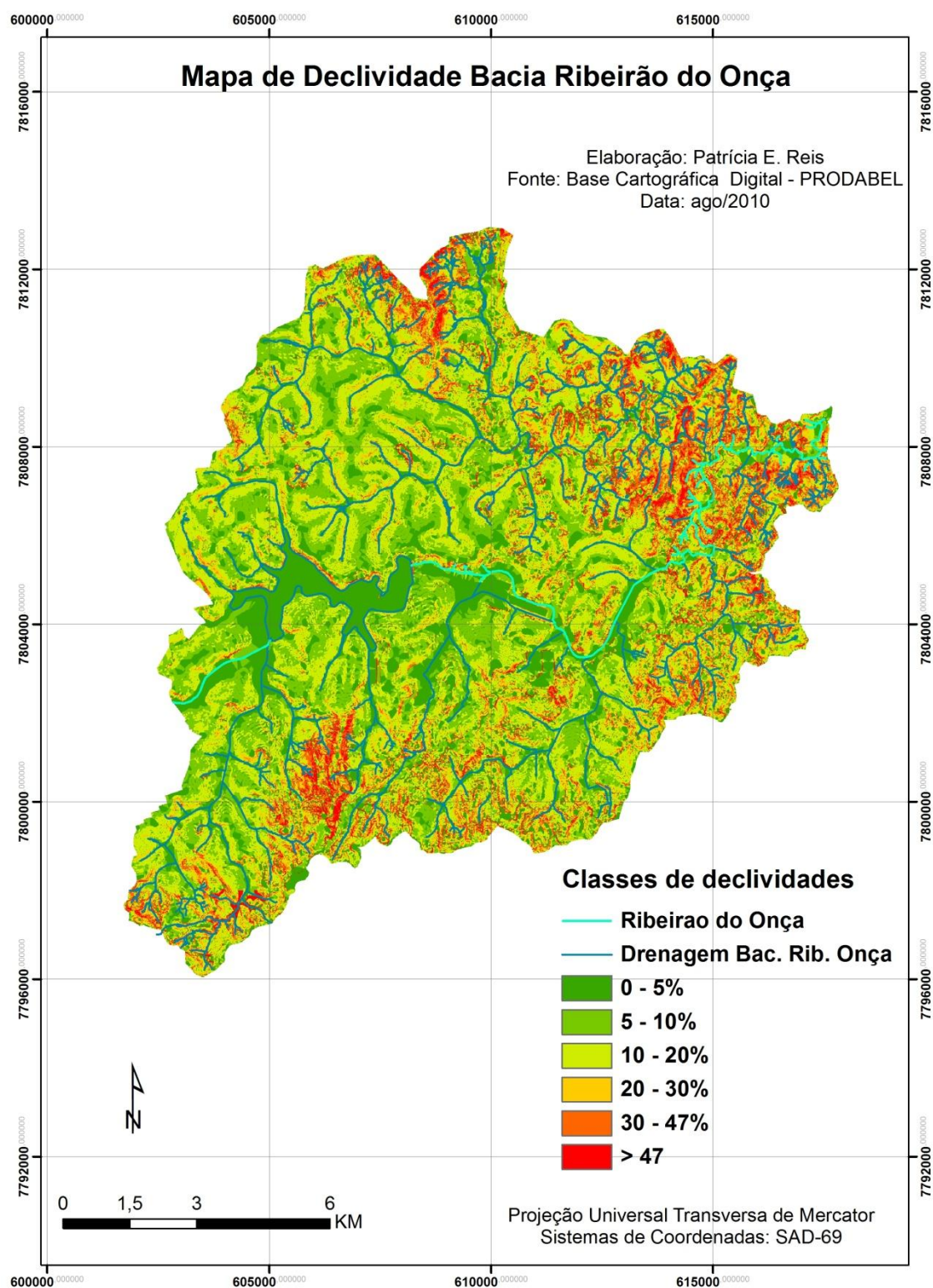


Figura 25: Mapa de declividade bacia do ribeirão do Onça

A bacia do ribeirão do Onça caracteriza-se por apresentar altas declividades (figura 25) concentradas nas suas extremidades nordeste e sudoeste. As declividades

decrecem à medida que aproxima das áreas mais centrais da bacia, principalmente no entorno da Lagoa da Pampulha.

Para a elaboração do mapa de curvatura da bacia do ribeirão do onça (Figura 26) utilizaram-se os mesmos critérios adotados para a construção do mapa base de curvatura da bacia do ribeirão Arrudas.

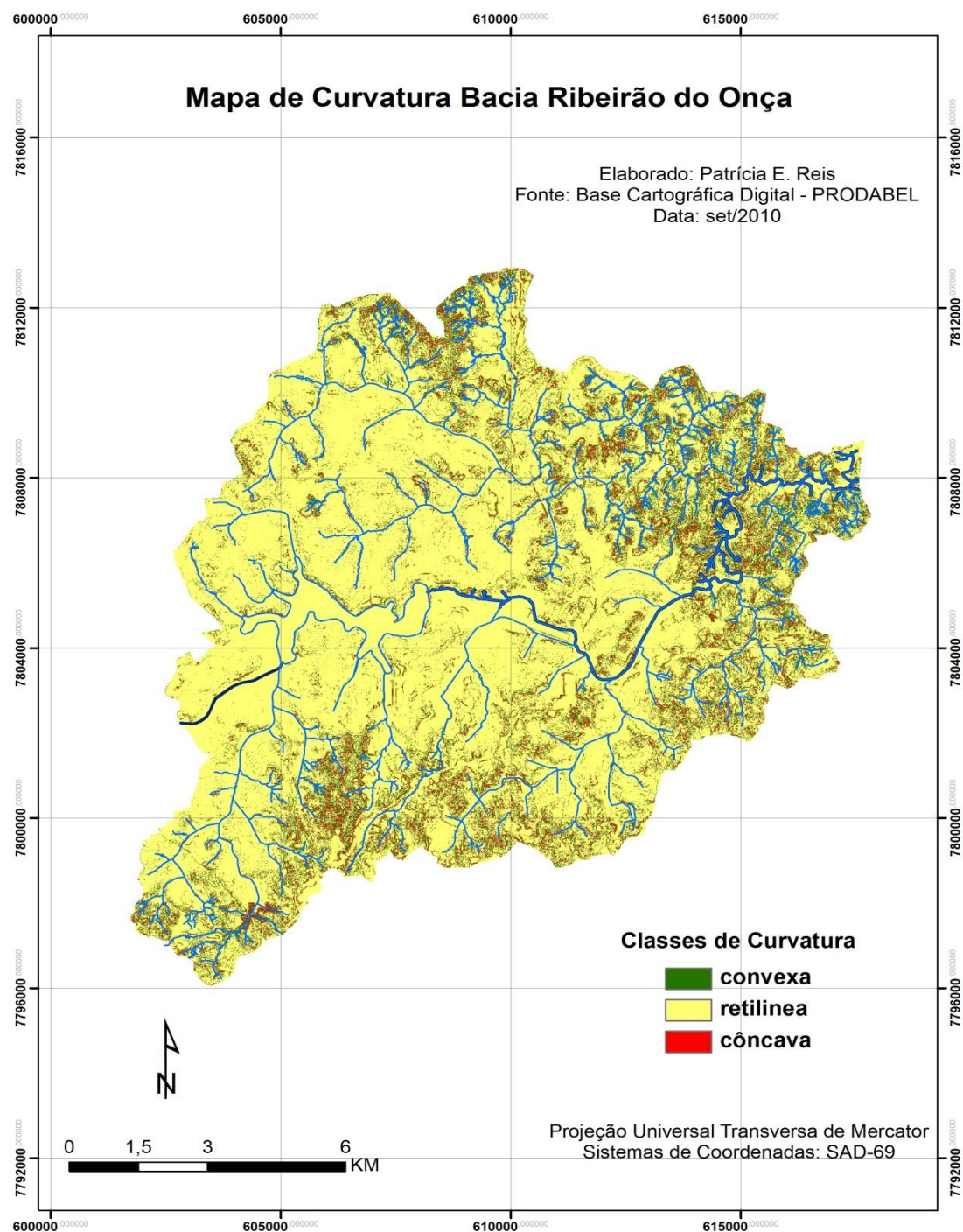


Figura 26: Mapa de curvatura bacia ribeirão do Onça

As curvaturas côncavas na bacia ribeirão do Onça coincidem com as áreas com declividades maiores que 47%, as quais em conjunto já tornam estas áreas mais susceptíveis à formação de enxurradas.

Mesmo não tendo sido realizado o cruzamento dos mapas de declividade e curvatura pode ser previsto que as áreas de maior curvatura e declividade serão coincidentes com as maiores susceptibilidades à formação de enxurrada nesta bacia. Além disso, seria interessante para futuros estudos a construção de um mapa de áreas verdes e áreas impermeáveis para fortalecer a análise de susceptibilidade.

A análise preliminar permitiu uma distinção clara entre as duas bacias, Onça e Arrudas, do ponto de vista de forma e altitudes (Tabela 8).

Tabela 8 – comparação entre bacias do ribeirão Arrudas e Onça

Características	Arrudas	Onça
Forma	Elíptica a ramificada	Circular a ramificada
Rede de drenagem	Paralela	Dendrítica
Altimetria	894m - 1500m	946m - 675m
Geologia	Complexo Belo Horizonte e Seqüência de metassedimentares	Complexo Belo Horizonte
Geomorfologia	Influência do alongamento da Serra do Curral	Morros, colinas e espigões

Estudos hidrológicos e climáticos mais aprofundados aliados às características físicas de susceptibilidade à formação de enxurradas, levando-se em conta a quantificação da forma e da rede de drenagem, poderão contribuir para se justificar episódios diferentes de inundações e enchentes nas duas bacias.

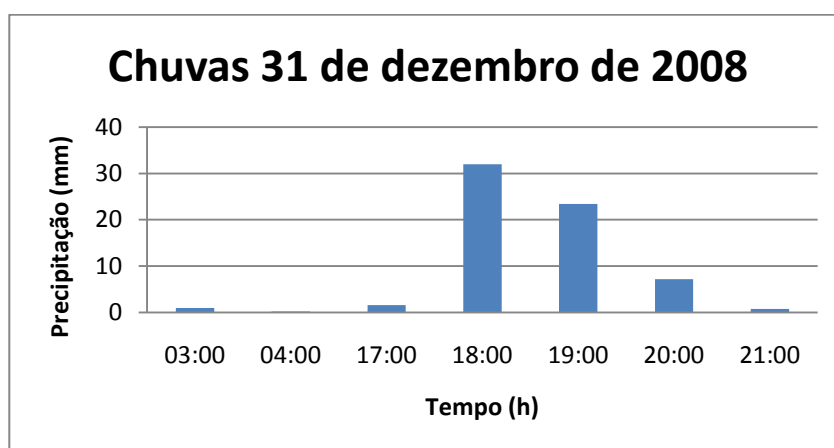


Figura 27: Precipitação de 31 de dezembro de 2008

Diante do exposto, fica claro que o mapa de áreas susceptíveis às inundações, analisado de forma isolada, não auxilia no entendimento do fenômeno. Para a formulação de soluções e medidas preventivas e remediadoras necessita-se mapear as áreas susceptíveis ao escoamento superficial. Recomenda-se que a análise dos escoamentos superficiais seja realizada para cada sub-bacia das bacias do ribeirão do Onça e Arrudas como feito para a bacia do Córrego do leitão.

4.2 Caracterização da Bacia Córrego Leitão

A bacia Córrego do Leitão pertence à bacia do Ribeirão Arrudas. Está localizada na porção central da regional Centro-Sul de Belo Horizonte (Figuras 28 e 29) e apresenta uma área correspondente a 10,62 km². Seus afluentes encontram-se canalizados e fechados, com exceção de um pequeno córrego à montante sudeste da bacia.

Na porção sul da bacia há a barragem de Santa Lúcia, construída na década de 1970 para a regularização da vazão do córrego do Leitão. No lado direito da barragem encontram-se a favela Santa Lúcia, Santa de Rita de Cássia (Papagaio) e Estrela.

O rio principal está canalizado ao longo da Avenida Prudente de Moraes e das ruas Marília de Dirceu, Curitiba (entre os números 2205 a 2331), Barbara Heliodora, São Paulo (entre os números 1199 a 1957), Padre Belchior, dos Tupis (entre os números 699 a 1019) e a Mato Grosso (entre os números 11 a 179), quando encontra com o ribeirão Arrudas, também canalizado.



Figura 28: Vista aérea da bacia do córrego Leitão (sem escala definida).

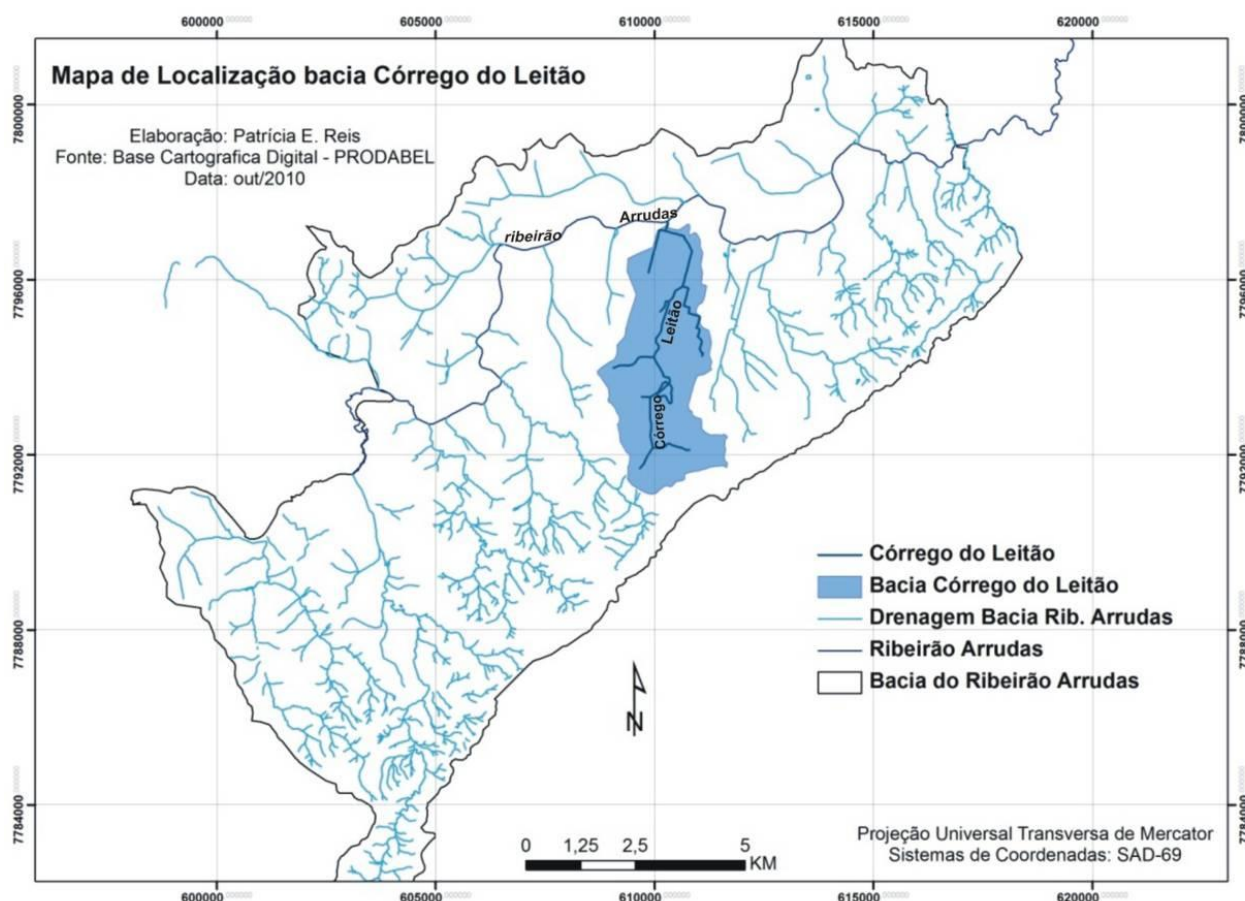


Figura 29: Mapa de Localização da bacia Córrego do Leite

4.2.1 Geologia

A bacia do Córrego do Leite está inserida em grande parte sobre as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero e abrange parte do Complexo Belo Horizonte (Figura 30). Na porção norte da bacia há o predomínio do embasamento gnáissico de idade arqueana - Complexo Belo Horizonte. Na sua porção sul até porção central encontram-se uma sucessão de rochas paleoproterozóicas metassedimentares (subordinadamente metavulcânicas), integrantes dos grupos Itabira, Piracicaba e Sabará (Silva *et al.*, 1995).

O Grupo Itabira é representado na bacia pela Formação Gandarela (filitos dolomíticos e dolomitos), enquanto que o Grupo Piracicaba abrange as Formações Cercadinho (quartzitos alternados com filitos prateados), Fecho do Funil (filitos) e Barreiro (filitos carbonosos). Estas formações caracterizam a cabeceira da bacia em estudo. Em seguida, tem-se o Grupo Sabará (xistos e filitos) de maior expressão (49%) dentro da bacia. E por último o Complexo BH, também de expressão significativa (31%), que se localiza na desembocadura do córrego do Leite com o ribeirão Arrudas.

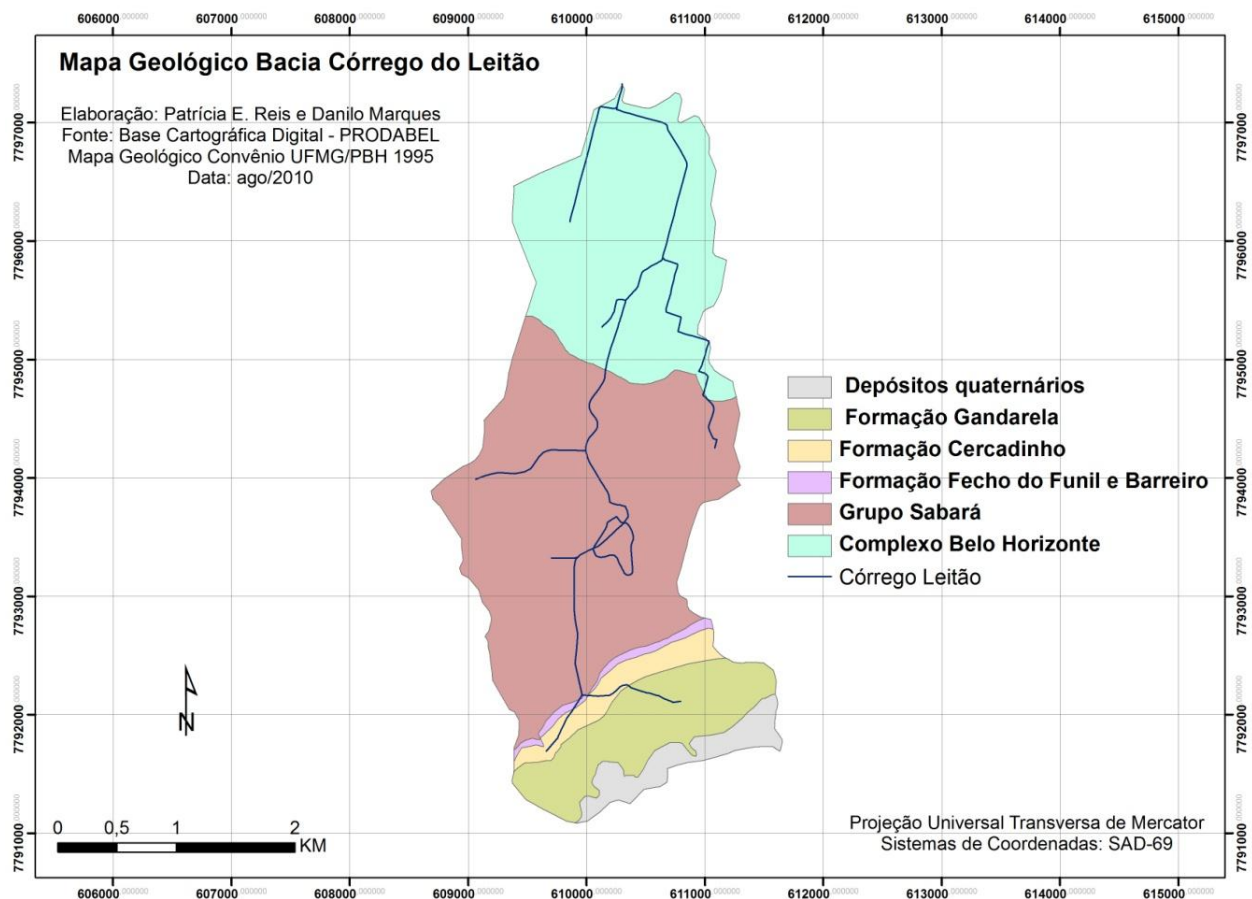


Figura 30: Mapa Geológico da bacia Córrego do Leiteão (modificada de Silva *et al.*, 1995 e Tuler *et al.*, 2007)

4.2.2 Altimetria

O mapa hipsométrico da bacia Córrego do Leiteão foi construído a partir de curvas com espaçamento de 5m e resultou em mapa com nove classes, a qual apresenta como cota mínima de 845 m e cota máxima de 1160 m (Figura 31).

A rede de drenagem da bacia encontra-se, de montante a jusante entre as altitudes de 1117 m a 845 m. As áreas com maiores altitudes representam o divisor da bacia.

4.2.3 Declividade

As classes de declividade foram definidas inicialmente de acordo De Biasi (1992 *apud* Vieira *et al.*, 2004) e através do mapa de declividade de Belo Horizonte elaborado pelo Convênio CEFET-UFV/PBH. Assim, obteve-se um mapa inicial com classes de

declividades em porcentagens. Em seguida, após a reclassificação, um novo mapa foi criado, o mapa base de declividade conforme a Figura 32.

Vieira *et al.*, 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 pôde-se definir qualitativamente as classes de susceptibilidade a formação de enxurradas em: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

As classes de declividades entre 30 – 47% e superior a 47% foram consideradas como susceptibilidade alta a muita alta à formação de enxurradas. Estas áreas coincidem com áreas de altitudes elevadas variando ao longo da bacia entre 910 m a 1160 m.

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).

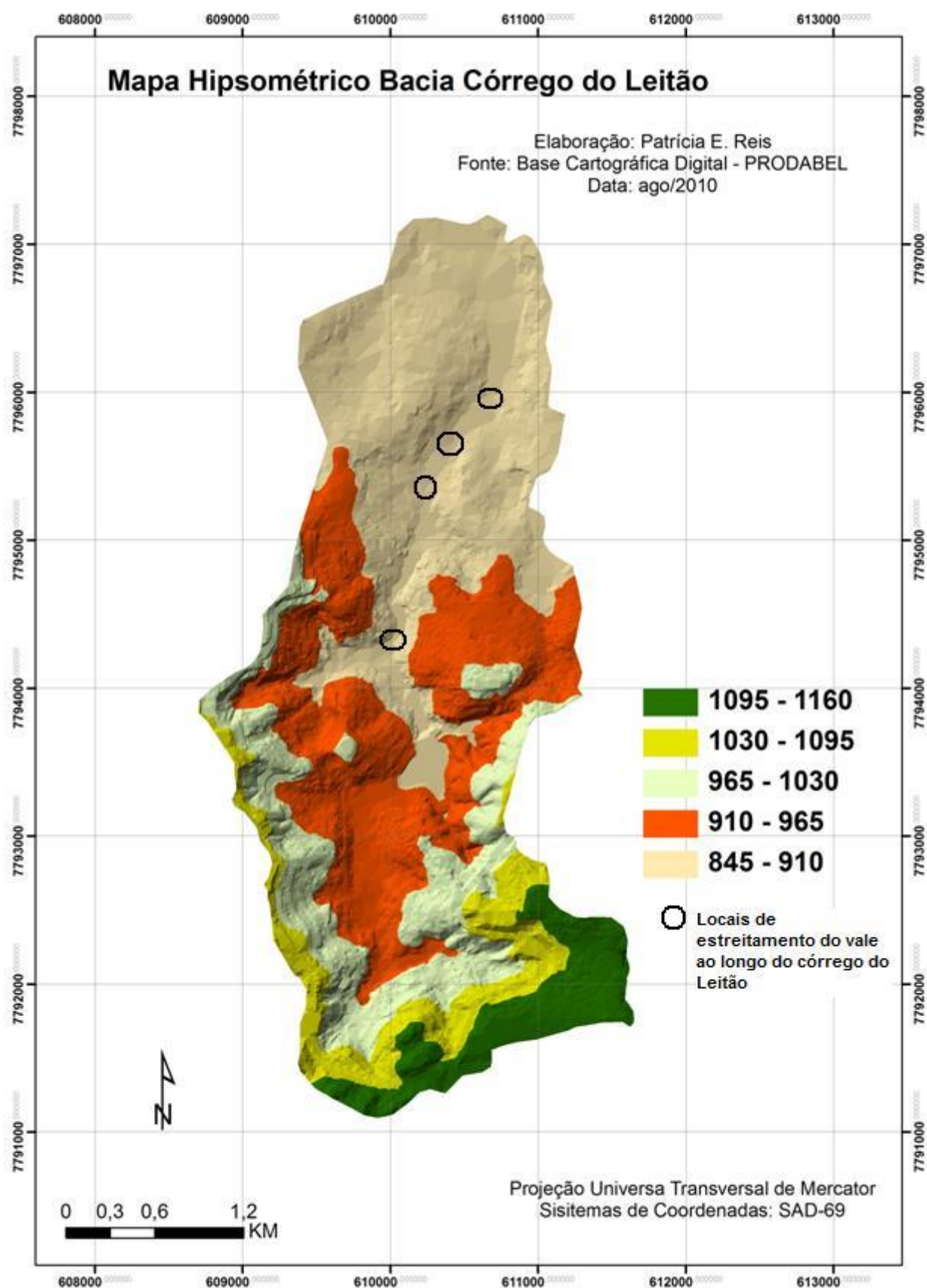


Figura 31: Mapa Hipsométrico bacia Córrego do Leitão

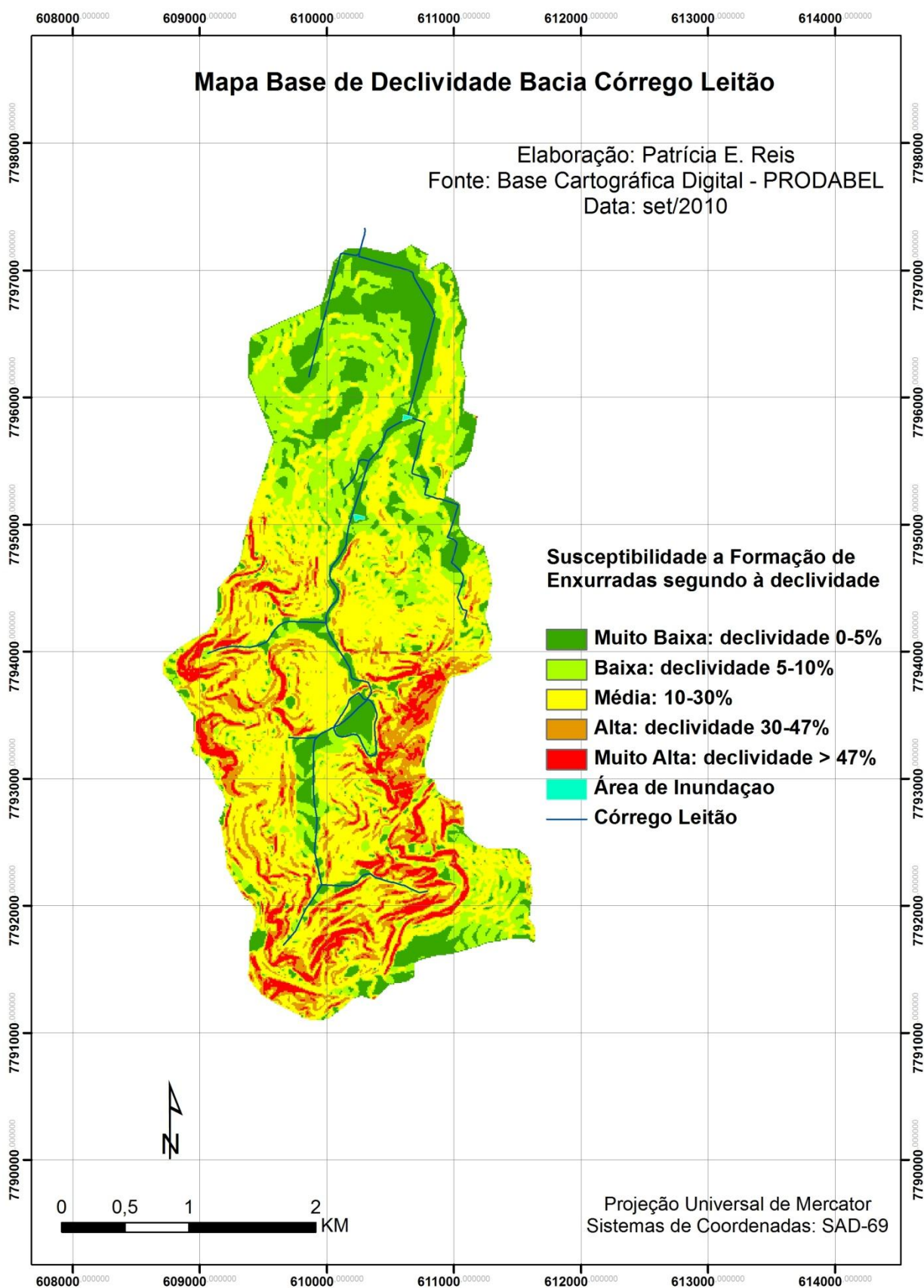


Figura 32: Mapa base de Declividade bacia córrego do Leitão

As classes de susceptibilidades alta a muita alta à formação de enxurradas também ocorrem nas áreas do Grupo Sabará (filitos) que se caracterizam por apresentarem um aquífero com baixa permeabilidade.

A susceptibilidade média à formação de enxurradas é predominante na bacia, estando presente desde a cabeceira até a foz da área de estudo, como exemplo tem-se a rua João Freitas que apresenta declividade média e curvatura retilínea (Figura 33). Assim, baseando-se apenas pela declividade o mapa da Figura 32 aponta as áreas mais susceptíveis à formação de enxurradas e assim os pontos de maior vulnerabilidade na área urbana.

As áreas de inundações localizadas nos mapas estão em pontos onde a susceptibilidade é considerada muito baixa, com declividades entre 0-5%. Entretanto, as inundações ocorrem após a drenagem receber o fluxo de enxurradas gerado 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 910 m.



Figura 33: Rua João Freitas com declividade média e curvatura retilínea. (Foto: Patrícia E. Reis, Outubro de 2010)

4.2.4 Curvatura

O mapa de curvatura foi reclassificado de acordo com os procedimentos descritos no capítulo de Métodos. Como resultado tem-se o mapa base com a descrição das áreas de curvatura côncava, retilínea e convexa.

Para a construção do mapa base de Curvatura foram adotados para uma curvatura côncava valores negativos, para uma curvatura convexa valores positivos, e na retilínea são valores próximos de zero seguindo os procedimentos realizados por Stabile *et al.* (2008). Para Valeriano (2008) a transformação da curvatura calculada em classes (convexo, côncavo e retilíneo) é feita através do fatiamento (ou reclassificação) dos valores obtidos. Na prática, a ocorrência de valores nulos fica sendo uma coincidência raríssima, mas, há a necessidade de se admitir uma margem de valores em torno do zero para que as vertentes retilíneas possam ser evidenciadas.

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 (Figura 28) influenciam nos processos de migração e acúmulo de água, minerais e matéria orgânica no solo através da superfície, proporcionados pela gravidade (Valeriano *et al.*, 2007). Dietrich & Montgomery (1998 *apud* Santos, 2008) 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 *apud* Santos, 2008). 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 *apud* Santos, 2008).

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 34).

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 da bacia, ora são perpendiculares ao fluxo nas demais áreas da bacia.

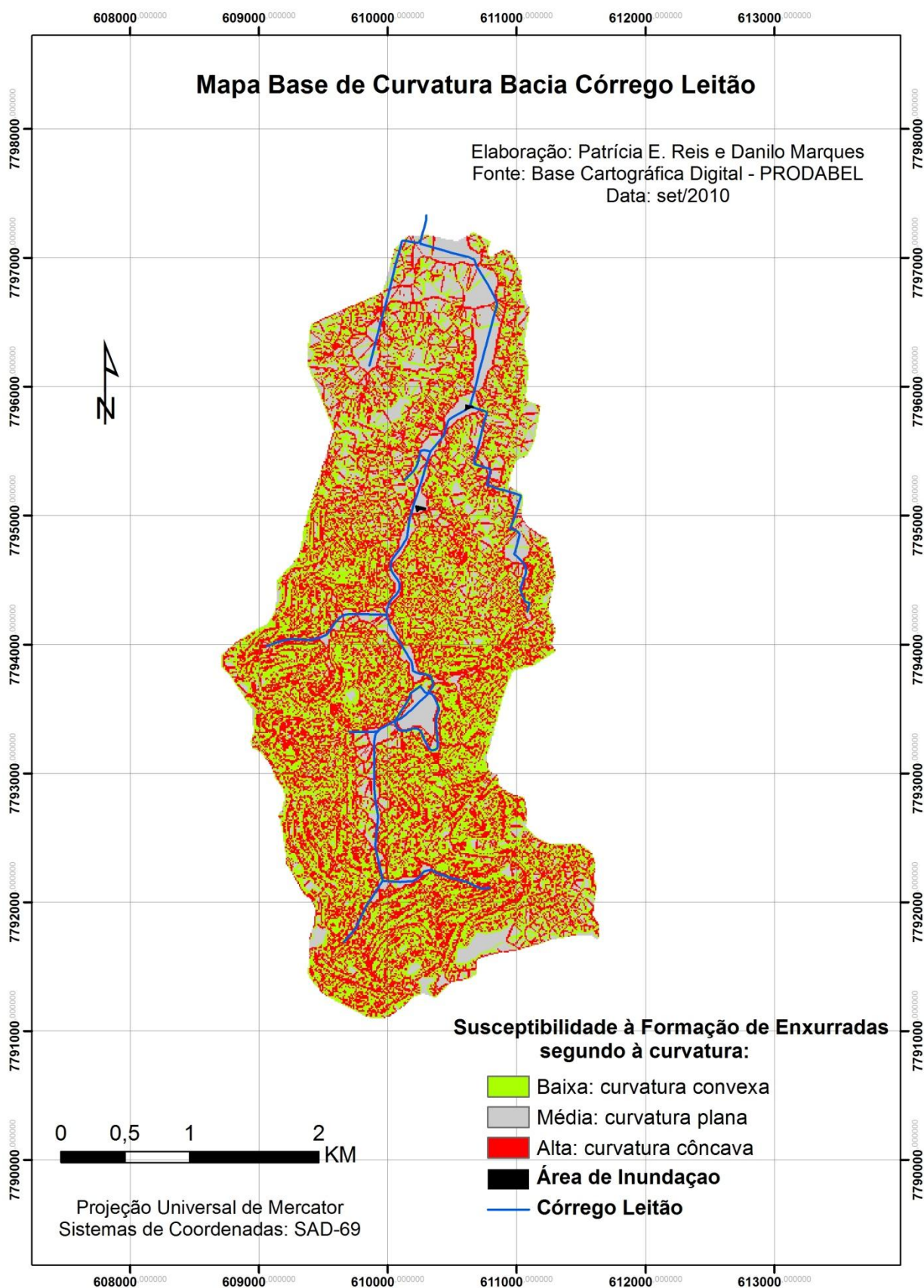


Figura 34: Mapa base de curvatura bacia Córrego Leitão

As duas áreas de inundação se localizam na rua Joaquim Murtinho próximo ao cruzamento com a Avenida Prudente de Moraes e entre os cruzamentos das ruas São Paulo, Barbara Heliodora e Alvarenga Peixoto. Nestas ruas identificou-se um predomínio da curvatura côncava, ou seja, apresentam maior susceptibilidade à formação de enxurradas.

4.2.5 Impermeabilização do Solo

O mapa base de áreas verdes e áreas impermeáveis (Figura 35) resultou em um mapa que descreve as áreas impermeáveis e as áreas verdes dentro da bacia do Córrego do Leitão. Ressalta-se que para as áreas de parques e lotes desocupados foram consideradas áreas verdes e para áreas impermeáveis considerou-se as áreas urbanizadas. Além disso, as áreas verdes foram correlacionadas com a geologia correspondente de cada uma, após o cruzamento com o mapa geológico (Figura 30).

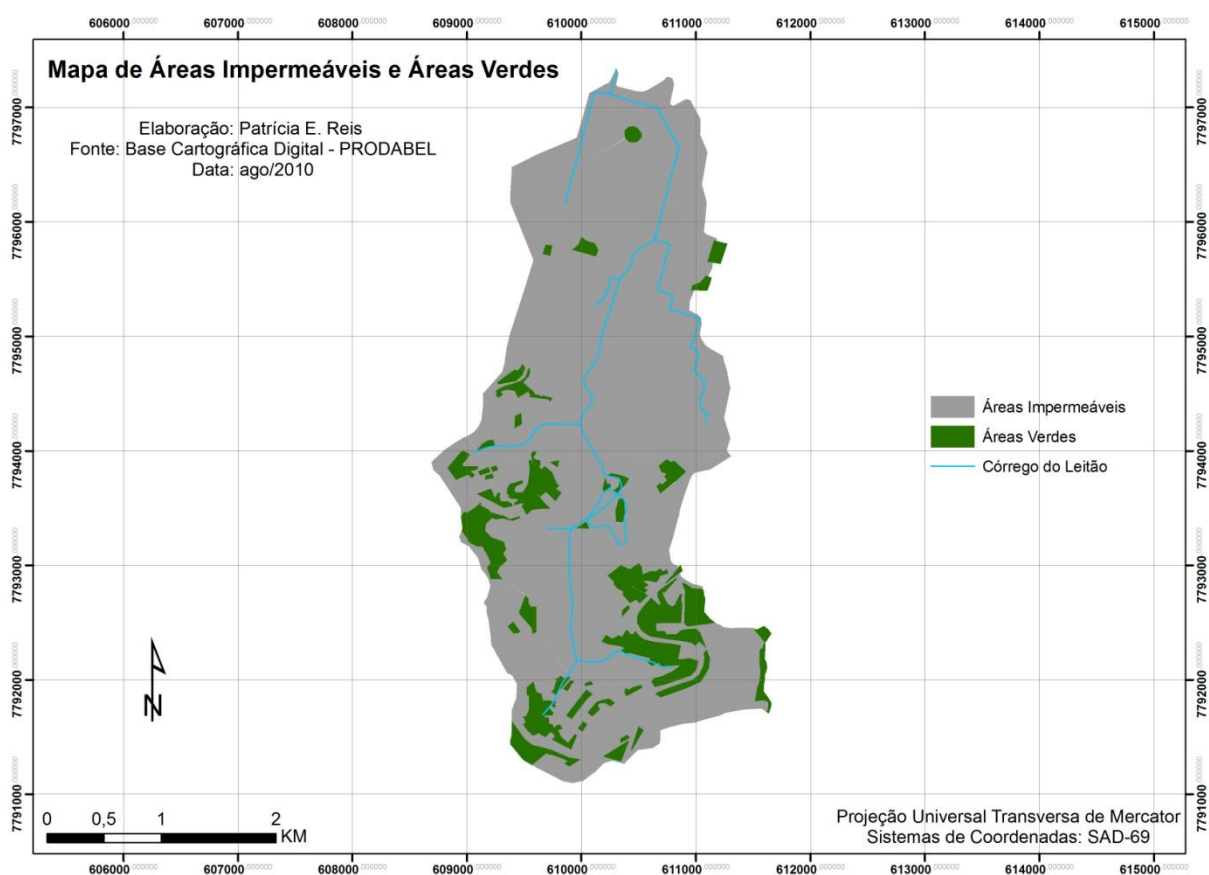


Figura 35: Mapa áreas impermeáveis e áreas verdes bacia Córrego do Leitão

Como já descrito, 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 do córrego do Leitão. Ressalta-se que a impermeabilização do solo anula as características de permeabilidade da geologia da área e intensifica o processo de escoamento superficial, principalmente onde as declividades são altas e médias, e as curvaturas são côncavas.

As áreas verdes a montante ocorrem na 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). Além destas áreas, regiões onde ocorre o Grupo Sabará apresentam algumas áreas verdes (5,51% da área total verde), principalmente do lado leste da bacia. Já a região sobre o Complexo BH possui apenas 0,73% das áreas verdes na bacia.

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

Esta situação é similar na área do Complexo BH, pois esta, nesta bacia, não é uma área de recarga. A diferença está que o Complexo BH não está em áreas de declividades elevadas dentro da bacia. Áreas sobre o Complexo BH classificam-se em susceptibilidade baixa a média à formação de enxurradas.

4.3 Análise do Mapa Final – Cruzamento dos mapas bases

Os mapas bases gerados de declividade (Figura 32), curvatura (Figura 34) e áreas impermeáveis e verdes (Figura 35) foram cruzados afim de se obter o mapa final de susceptibilidade à formação de enxurradas (Figura 36). Neste mapa foi incluído o arruamento presente na bacia 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 base de áreas impermeáveis e áreas verdes. Como resultado tem-se que as áreas verdes, mesmo onde a geologia apresenta uma baixa permeabilidade, permitem a retenção do escoamento superficial nas áreas descritas.

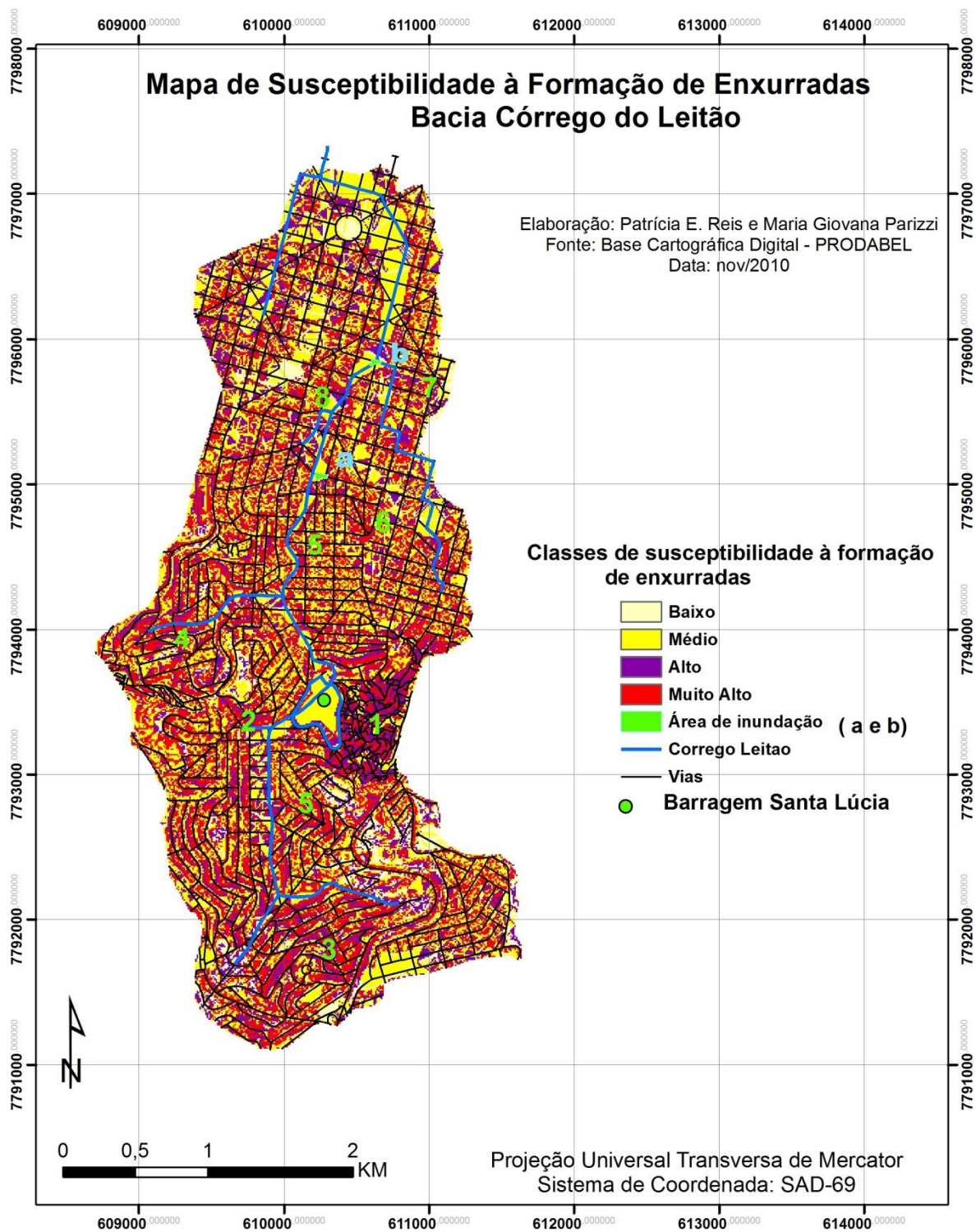


Figura 36: Mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia Córrego do Leitão
(de 1 a 8 são pontos especiais descritos no texto)

A susceptibilidade média, alta a muita alta à formação de enxurradas estão distribuídas ao longo de toda a bacia do Córrego do Leitão. Mas, como apresentado na figura 36, 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, que flui abaixo da rua Professor Candido Holanda.

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, ora são perpendiculares às ruas.

Ponto 4 - na área de cabeceira da drenagem que flui ao longo da rua Guaicuí, onde 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 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 ruas José Ribeiro, Barão de Macaúbas e Joaquim Murtinho, próxima a mancha (ou área) de inundação a.

Ponto 7 - ao longo da rua Alvarenga Peixoto próximo a outra mancha (ou área) de inundação b com o cruzamento das ruas São Paulo, Barbara Heliodora e Alvarenga Peixoto.

Ponto 8 - em **quatro** pontos ao longo da drenagem principal (exibidos na figura 31) onde percebe-se um 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 na rua Joaquim Murtinho localiza-se justamente após um estrangulamento do relevo, o que pode ser considerado mais um condicionante para sua geração.

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

A mancha de inundação 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 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 está em área impermeabilizada.

Outro aspecto condicionante é que na rua Joaquim Murtinho, exatamente onde ocorre a inundação, existe um rebaixamento (concavidade) do arruamento com relação à avenida Prudente de Moraes, o que torna a drenagem deficiente e induz alagamento no local (Figura 37).



Figura 37: Rua Joaquim Murtinho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. As setas demonstram a concavidade descrita. (Foto de Outubro de 2010).

As características nestas áreas que mais condicionaram sua classificação como áreas susceptíveis a formação de enxurradas foram a curvatura e a impermeabilização da área.

Além disso, a mancha que está entre os cruzamentos das ruas Barbara Heliodora, São Paulo e Alvarenga Peixoto recebe contribuição de água do afluente sem nome (próximo ao ponto 7) a leste do mapa final.

O escoamento superficial intenso gerado nas áreas dos pontos 1 e 2 é retido na Barragem Santa Lúcia e as inundações são minimizadas, como observado na Figura 38. 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 não ser que contenham um sistema eficiente de drenagem. A Figura 39 exhibe arruamento próximo ao ponto 3 com rochas e pedregulhos espalhados que foram transportados por escoamento superficial após chuva intensa ocorrida em Outubro de 2010.



Figura 38: Escoamento superficial vindo da vila Barragem Santa Lúcia (ponto 1) sendo retido pela barragem. (Foto – Patrícia E. Reis, Outubro de 2010)



Figura 39: Fragmentos rochosos e pedregulhos espalhados por enxurrada forte ao longo da rua La Place, esquina com rua Zodíaco (ponto 3), após chuva intensa. As manchas na foto são gotas de chuva na lente da câmara. (Foto de Outubro de 2010).

4.3.1 Mapa de direção do fluxo

O mapa da direção do fluxo (Figura 40) permite a visualização da tendência de escoamento da água nas vertentes.

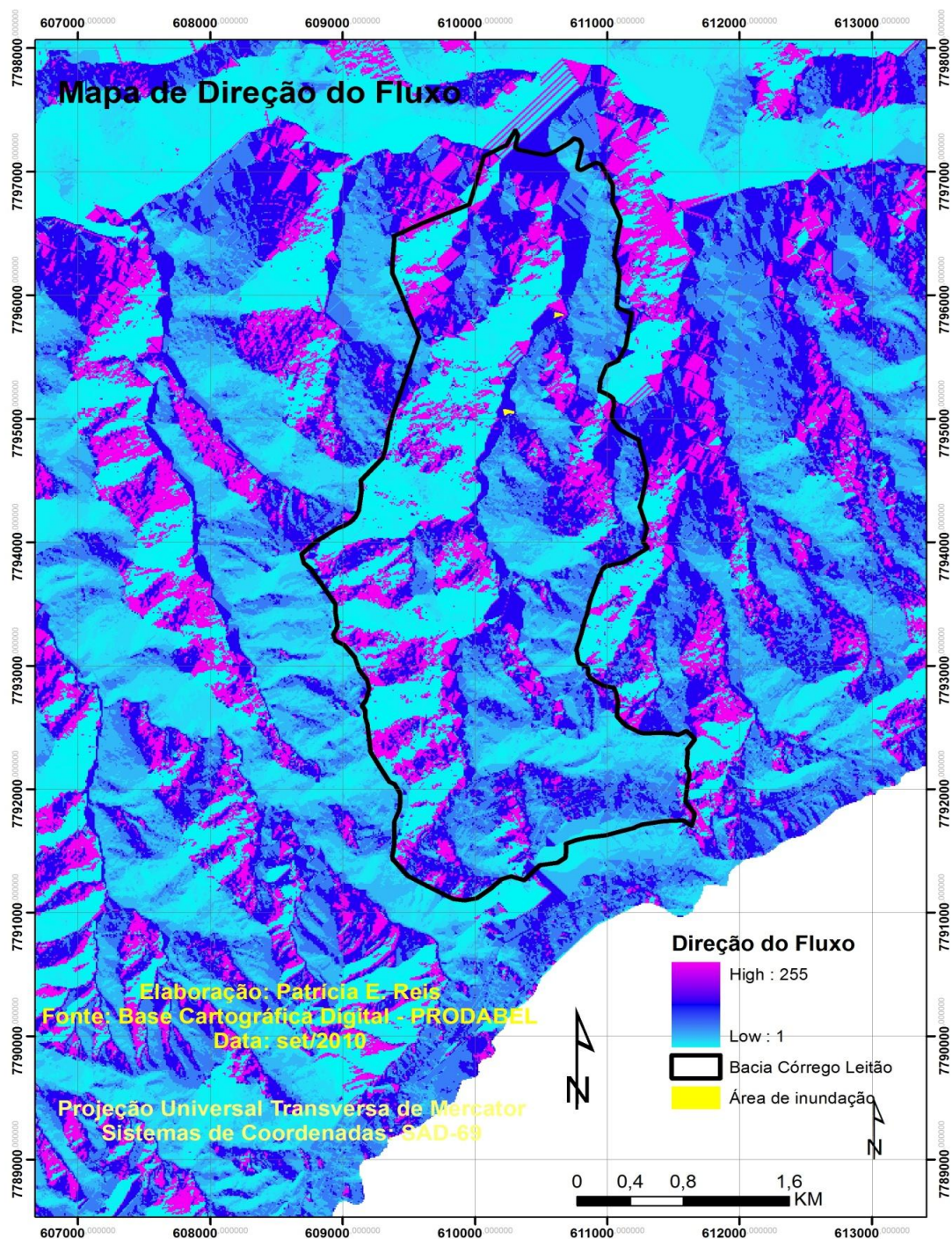


Figura 40: Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leitão

O fluxo gerado a montante da barragem de Santa Lúcia é retido pela mesma e pelas áreas verdes presentes neste local. A jusante da barragem todo o fluxo apresentado na Figura 40 é direcionado para o rio Arrudas.

Com relação às áreas de inundações, grande parte do fluxo que chega ao local inundado advém da porção nordeste da bacia, sendo assim, recebe pouca influência direta da água que é escoada pela Avenida Prudente de Moraes.

4.4 Avaliação das taxas de precipitação nos dias de ocorrência de eventos hidrológicos

O primeiro evento ocorreu em 16 de março de 2009 na Avenida Prudente de Moraes, onde uma enxurrada brusca (Castro *et al.*, 2003) atingiu um carro com três pessoas, matando um senhor de 86 anos (Bragon, 2009). Neste dia choveu um total de 50,4 mm às 21 h e logo depois mais 14 mm às 22 h, resultando em uma chuva de 64,4 mm em duas horas (Figura 41).

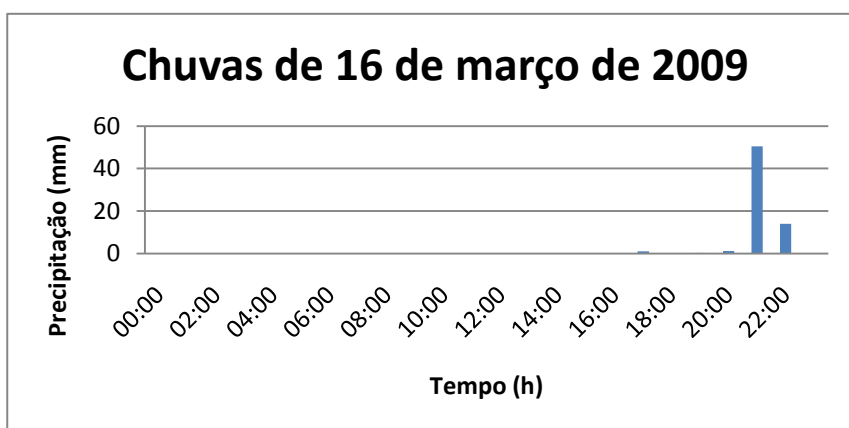


Figura 41: Chuva de 16 de março de 2009

O segundo evento ocorreu na noite do dia 07 de outubro de 2009 na Avenida Prudente de Moraes, provocando alagamento e deixando moradores sem energia elétrica (Spigliatti, 2009), mas ninguém ficou ferido. Conforme as taxas de precipitação registradas pelos pluviógrafos do convênio URBEL/IGC-UFMG esta precipitação resultou em um pico de 61,4 mm às 21 h, que foi reduzido a 0,2 mm nas duas horas seguintes. O último evento descrito ocorreu na tarde do dia 15 de janeiro de 2010 provocou alagamento na Rua Joaquim Murtinho. Esta precipitação apresentou dois picos, o primeiro à 1h da madrugada com uma taxa de 53 mm e o segundo com 32,8 mm às 12 h. Neste dia também não houve relato de vítimas (Magalhães, 2010) (Figura 42).

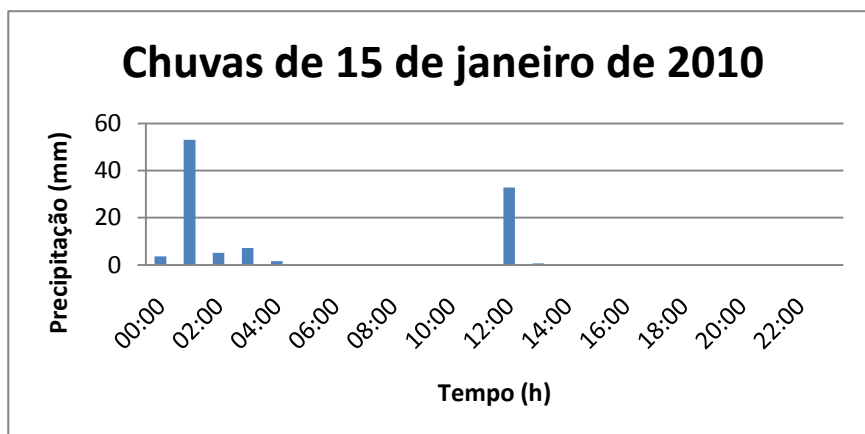


Figura 42: Chuvas de 15 de janeiro de 2010

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.*, 2003).

Correlacionando estas taxas de precipitação com o mapa de direção de fluxo (Figura 35), por exemplo, pode-se concluir que boa parte desse volume de água gerado em curto intervalo irá fluir nas direções apontadas pelo mapa e também ao longo das áreas de maior susceptibilidade a formação de enxurradas conforme o mapa final (Figura 36).

Capítulo V

5. Conclusões

A aplicação do método de Multicritérios, utilizando-se do software *Arc gis* 9.3, permitiu o cruzamento de mapas temáticos de declividade, curvatura e áreas impermeáveis e áreas verdes para a elaboração do mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas na bacia Córrego do Leite.

A partir da análise deste mapa foi possível verificar duas áreas de susceptibilidade alta a muito alta às enxurradas direcionadas diretamente para as manchas de inundações apresentadas pela SUDECAP/PBH (2009), uma 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 validada 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 a 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.

É possível avaliar áreas que devem sofrer redimensionamento das redes e galeria de drenagem, e também receberem a aplicação de outros dispositivos de infiltração das águas pluviais visando amortizar as enxurradas. Como exemplo destes métodos pode-se citar:

- a execução de poços e trincheiras de infiltração da água pluvial e escoamento superficial para estímulo da recarga dos aquíferos, principalmente em áreas impermeabilizadas, como sugerido por Carvalho (1999).
- a preservação e aumento das áreas verdes e parques e a construção de parques lineares como forma de amortecimento das cheias e conseqüente redução do escoamento, melhoria da

permeabilidade, da qualidade das águas e melhoria da qualidade de vida e redução de acidentes, como descrito por Nakata *et al.* (2008) e Macedo (2009).

- O uso de pavimentos porosos nestas áreas capazes de absorver com facilidade as águas pluviais, que vem sendo pesquisados e aprimorados (USP, 2010).

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

Foi possível aplicar o método usado na sub bacia do córrego leitão, de forma preliminar, nas bacias Onça e Arrudas. Na bacia do ribeirão Arrudas é visível a influência da Serra do Curral na orientação paralela da drenagem, o que também influencia o paralelismo do escoamento superficial (drenagens do tipo paralelas e perpendiculares ao alinhamento da Serra). A Serra do Curral é constituída por rochas mais resistentes, como os itabiritos da Fm. Cauê e o dolomito da Fm. Gandarela, sendo que o itabirito é protegido por uma couraça ferruginosa, o que irá favorecer a infiltração da água. Entretanto, a serra do Curral apresenta declividades altas e curvaturas retilíneas a côncavas que são favoráveis ao escoamento superficial e o acúmulo do mesmo.

Para a bacia do Ribeirão do Onça não foram feitos cruzamentos com os mapas de declividade e curvatura. Mas percebe-se que há coincidência entre as áreas com declividades altas (sudoeste e nordeste) e as áreas com curvaturas côncavas (também a sudoeste e nordeste), o que leva a concluir que são áreas propícias à formação de enxurradas. A bacia do Onça caracteriza-se por estar sobre o Complexo Belo Horizonte, onde a permeabilidade é favorável, ou seja, é uma área de recarga, onde está presente um dos melhores aquíferos do município de Belo Horizonte. Diante disto o estudo de áreas impermeáveis seria importante para complementar a análise de susceptibilidade ao escoamento superficial.

Para estudos futuros recomenda-se a continuidade da análise das duas bacias, elaborando-se os mapas de áreas impermeáveis e permeáveis, de geologia e solos que devem ser cruzados com os outros mapas temáticos já existentes (declividade e curvatura). Além disso, devem ser realizados estudos detalhados de cada sub-bacia, como feito para a sub-bacia do Córrego do Leitão. Isso permitirá uma visão integrada dos processos de escoamento superficial e de inundação. Recomenda-se estudos hidrológicos e climáticos mais profundos aliados aos estudos de susceptibilidade à formação de enxurradas. É importante ressaltar que

medidas estruturais que vêm sendo executadas no município, como sistemas de drenagem, execução de aprofundamento de leito dos rios e bacias de contenção não foram analisados neste estudo. Uma análise da eficácia de tais medidas certamente poderá ser combinada aos mapas de susceptibilidade à formação de enxurradas para aperfeiçoamento desta classificação.

Capítulo VI - Referências Bibliográficas

- Abreu, M. L. 1998. *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.
- Abreu, M.L., Moreira, A. A. M., Lucio, Toscano, P. S., E. M. M. 1998. *Avaliação Estatística do Comportamento Temporal de Variáveis Climatológicas de Belo Horizonte - MG (Brasil)*. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Brasília. Anais.
- Amaral, R; Ribeiro, R.R. 2009. *Enchentes e Inundações*. In: *Desastres Naturais, conhecer para prevenir*. Tominaga, L.K; Santoro, J; Amaral, R. (Organizadores). Instituto Geológico, São Paulo. p. 40-53.
- Anjos, D.S. 2008. *Classificação da curvatura de vertentes em perfil via thin plate spline e inferência fuzzy*. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista UNESP, 97 p.
- Araújo, E.P, 2006. *Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos. 88p.
- Baumgratz, S. S.1988. O planejamento urbano de Belo Horizonte e seus problemas geomorfológicos. *Geografia*, Belo Horizonte, **13** (25). p. 117-131.
- Bragon, R. *Temporal causa morte e prejuízos em Belo Horizonte (MG)*. Especial para o UOL Notícias. Disponível em: www.uol.com.br. Acesso em 03/06/09.
- Bringel, Maria Luiza Nova da Costa. 2003. *Manual de Desastres – Volume I – Ministério da Integração Nacional*. Brasília.
- Carvalho, E. T.1999. *Geologia Urbana Para Todos- uma visão de Belo Horizonte*. (publicação indepedente)176 p.

- Carvalho, Macedo & Ogura, organizadores. 2007. *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 176 pp.
- Castro, Antônio Luiz Coimbra de; Calheiros, Lelio Bringel; Cunha, Maria Inês Resende; Bringel, Maria Luiza Nova da Costa. 2003. *Manual de Desastres Naturais – Volume I*. Ministério da Integração Nacional. Brasília. 174p.
- Christofoletti, A.. 1980. *Geomorfologia. A análise de Bacias Hidrográficas*, 2ª edição, São Paulo: Editora Edgard Blucher, 97p.
- Coelho, André Luiz Nascentes. 2007. *Aplicações de Geoprocessamento em Bacias de Médio e Grande Porte*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2437-2445.
- Cristo, S.S.V. 2002. *Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. 211p.
- Eckhardt, Rafael Rodrigo; Saldanha, Dejanira Luderitz; Rocha, Ronaldo dos Santos da. 2008. *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 No 60/03.
- EM-DAT Emergency Database. OFDA/CRED – 2009. *The Office of US Foreign Disaster Assistance/ Centre for Research on the Epidemiology of Disasters*. Université Catholique de Louvain, Brussels, Belgium. Disponível em: <http://www.emdat.be/> Database. Acesso em julho de 2009.

- Fundação João Pinheiro, 1997. *Saneamento básico em Belo Horizonte: trajetória em 100 anos – os serviços de água e esgoto*. Fundação João Pinheiro, Centro de Estudos Históricos e Culturais – Belo Horizonte.
- Garcez, L.N., Alvarez, G.C. 1988. *Hidrologia*. In: *Ciclo Hidrológico*. Garcez, L.N., Alvarez, G.C.(eds.). pp.: 2-3.
- Garcez, L.N., Alvarez, G.C. 1988. *Ciclo Hidrológico Características das Bacias Hidrográficas*. In: *Ciclo Hidrológico*. Garcez, L.N., Alvarez, G.C.(eds.). pp.:43-46.
- Guimarães, L. J. R. 2008. *Levantamento das áreas potenciais ao assoreamento da barragem Piraquara I*. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 90 p.
- Jorge, F.N; Uehara, K. 1998. *Águas de Superfície*. In: *Geologia de Engenharia*. ABGE, São Paulo. pp. 101- 109.
- Jornal Alterosa. 2009. *Bombeiros dão dicas para evitar inundações*. Jornal da Alterosa 1ª Edição. Disponível em: www.alterosa.com.br. Acesso em 05/01/09.
- Jornal Estado de Minas 2008. *Inundação na Av. Cristiano Machado em 15/12/2008*. Disponível em: www.estadodeminas.com.br. Acesso em 18/12/08.
- Lucas, T. P. B; Abreu, M. L. 2004. *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.
- Lucas, T. P. B. 2007. *Chuvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Minas Gerais, IGC, Belo Horizonte, MG, 158 p.

- Macedo, D.R. 2009. *Avaliação de Projeto de Restauração de Curso d'água em Área Urbanizada: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte*. Dissertação de mestrado. Departamento de Geografia-UFMG. 139p.
- Magalhães, Flávia Denise de. *Chuva causa alagamentos em BH*. Disponível em: www.uai.com.br. Acesso em 07/06/2010.
- Ministério das Cidades (Brasil); IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2007 – *Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios*. Organizadores: Carvalho, C.S., Macedo, E. S., Ogura, A.T.; Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.
- Moreira, J. L. B. 2002. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno* [manuscrito]. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais.
- Moreira, V. R.; Neto, Pires, A. G.. 1998. *Geologia de Engenharia*. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, capítulo 5.
- Moura, A. C. M. 2007. *Reflexões metodológicas como subsídios para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios*. Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 2899-2906.
- Nakata, A.; Tseng, E.; Takey, F.Y. 2008. *Piscinões ou parques lineares? Soluções ou problemas*. Artigo de graduação. Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. 15p.
- Nasser, F. C. 2008. *Determinação de áreas prioritárias para a instalação de corredores ecológicos na APA Palmares, no município de Paty do Alferes, RJ*. Monografia, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica-RJ, 42 p.

- Negreiros, I. P. M. 2003. *Processamento de dados topográficos para o mapeamento da curvatura de vertentes*. Dissertação de Mestrado – Instituto Agrônomo de Campinas, 104p.
- Nimer, E.; IBGE. 1979. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 421p.
- Ostrowsky, M.S.B., Zmitrowicz, W. 1991. *Urbanização e Controle de Enchentes: o Caso de São Paulo: seus conflitos e Inter-Relações*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo.
- Parizzi, M.G. 2004. *Mecanismos e condicionantes de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, 211p.
- Passarella, S.M.;Machado, F.B; Riedel, P.S. ; Lopes, E.S.S., Ferreira, M.V; MOREIRA, M.R, Azzi, A.A. 2008. *Análise da relação entre escorregamento e formas de vertentes no município de Cubatão (SP) e seus arredores*. São Paulo, UNESP, Geociências, v. 27, n. 1, p. 7-20.
- Pinheiro, A. 2007. *As inundações no Brasil In: 2º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos*, Santos.
- Pinto, N.L.S., Holtz, A.C.T., Martins, J.A., Gomide, F.L.S. 1976. *Hidrologia Básica*. In: Pinto, N.L.S. (ed.) *Ciclo Hidrológico*. pp.: 1-6.
- Projeto Manuelzão 2009. *A Bacia do Ribeirão Arrudas*: Disponível em: www.manuelzao.ufmg.br/meta2010. Acesso em: 02/11/2009.
- Projeto Manuelzão. 2009. *A Bacia do Ribeirão do Onça*: Disponível em: www.manuelzao.ufmg.br/meta2010. Acesso em: 02/11/2009.
- Pruski, F.F.; Brandão, V.S.; Silva, D.D. 2003.*Escoamento Superficial*. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 88p.

- Reckziegel, E.W., Robaina, L.E.S., Reckziegel, B., Bombassaro, M.G. 2007. *Moradias Em Risco Associado Ao Arroio Cadena. Santa Maria, RS: Estudo nas Vilas Oliveira, Lúdia e Urlândia. In: 2º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos.*
- Reckziegel, B. W., Robaina, L.E.S. 2007. *Desastres naturais no estado do Rio Grande do Sul no período de 1980 a 2005: enchentes e enxurradas.* Universidade Federal de Santa Maria e Gerência Regional do Patrimônio da União no Estado de Alagoas. 12 pp.
- 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.
- Reis, R.J., Simões, T.K., 2008. MG Tempo – PUC Minas: Período chuvoso em Belo Horizonte 2006 / 2007. *Relatório do Convênio MG - Tempo PUC Minas/PBH*, 34p.
- Ribeirão Arrudas e seus afluentes. www.manuelzao.ufmg.br. Acesso em 15/11/2010.
- Ribeiro, C. M., Mól, C. R. F. 1985. *Avaliação das mudanças climáticas em Belo Horizonte: análise dos parâmetros temperatura e precipitação.* In: Simpósio sobre a situação ambiental e qualidade de vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG, 1, Belo Horizonte, *Anais*, 1: 67-77.
- Sá, C. A. 2001. *Mapeamento de declividades voltado para o controle de processos erosivos em sítios florestais.* Monografia, Departamento de Cartografia. Universidade Federal de Minas Gerais.
- Santos, R.F.S, organizadora. 2007. *Vulnerabilidade Ambiental.* Brasília: MMA, 192 p.
- Santos, W.; Vieira, B. C. 2008. *Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na serra do Mar, Cubatão (SP).* Departamento de Geografia– FFLCH/USP.

- Silva, A. S., Carvalho, E. T. Fantinel, L. M., Romano, A. W., Viana, C. S. 1995. *Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte*. Relatório Final. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/ UFMG. 490p.
- Silva, C.H.C.; Poletto, L.J.C.; Vilela, T.A.; Vieira, C.A.O. 2009. *Determinação de áreas de risco e simulação de intervenções através do uso de SIG na Bacia Hidrográfica do Ribeirão São Bartolomeu*. Departamento de Engenharia Civil. Setor de Engenharia de Agrimensura. Universidade Federal de Viçosa. Viçosa –MG.
- Silveira, A.L.L. 2000. *Ciclo Hidrológico e bacia hidrográfica*. In: Hidrologia: Ciência e aplicação. Tucci, C.E.M. (Eds). 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade UFRGS/ABRH. pp. 35-51.
- Silveira, R.D. 2007. *Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé, RS*. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, 154 pp.
- Sobrinho, T.A.; Oliveira, P. T. S.; Rodrigues, D. B. B.; Ayres, F. M. 2010. *Delimitação de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM*. 2010. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.1, pp.46-57.
- Souza, C.R. de G. 1998. *Flooding in the São Sebastião region, northern coast of São Paulo state, Brazil*. Anais Academia Brasileira Ciências, 70 (2): 353-366.
- Spigliatti, S. 2009. *Chuva causa alagamento e deixa 120 mil pessoas sem luz*. Disponível em: <http://noticias.limao.com.br/geral/ger121918.shtm>. Acesso em 08/10/2009.
- SUDECAP/PBH. Superintendência de Desenvolvimento da Capital – prefeitura de Belo Horizonte. 2009. Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Carta de Inundações de Belo Horizonte – Identificação de áreas potencialmente susceptíveis.

- Stabile, R. A.; Vieira, B. C. 2008. *O papel do ângulo da encosta e da forma das vertentes na distribuição das feições erosivas da bacia Água da Faca, Piratininga (SP)*. Universidade de São Paulo.
- Suguio, K. 1979. *Ambientes de Sedimentação sua Interpretação e Importância – Ambiente Fluvial*. In: Suguio, K. *Hidrologia*. Universidade Federal do Paraná, Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979. pp.:3-12.
- _____. *Ambientes de Sedimentação sua Interpretação e Importância – Ambiente Fluvial*. In: Suguio, K. *Conceitos Fisiográficos Fundamentais*. Universidade Federal do Paraná, Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1979. pp.:13-19.
- Tucci, C.E.M., Porto, R.L.L., Barros, M.T. (organizadores). 1995. *Drenagem urbana*. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade, UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.25
- Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. (orgs.). 2003. *Apostila de Inundações Urbanas da América Latina*. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 129 p.
- Tuller, M.O.; Calijuri, M.L.; Marques, E.A.G. 2007. Automação Digital dos Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais integrados no município de Belo Horizonte, MG. Anais do 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental – 6SBCGG. ABGE. Uberlândia, MG. 17p.
- UN-ISDR – United Nations International Strategy for Disaster Reduction – Living with Risk. *A Global Review of Disaster Reduction Initiatives*. United Nations. Geneva, Suíça. 2002. Disponível em http://www.unisdr.org/eng/about_isdr/bd-lwr-2004-eng.htm
- USP 2010. *Asfalto poroso absorve água e reduz riscos de enchentes* In: Agência USP de Notícias www.usp.br/agen/15anos - Acesso em novembro 2010

- Valeriano M. M.; Carvalho Júnior, O. A. 2003. *Geoprocessamento de modelos digitais de elevação para mapeamento da curvatura horizontal em microbacias*. Revista Brasileira de Geomorfologia, v.4, n.1, pp.17-29.
- Valeriano, M., M. 2003. *Curvatura vertical de vertentes em microbacias pela análise de modelos digitais de elevação*. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, pp.539-546.
- Valeriano, M. M.; Bispo, P.C.;Kuplich,T.M. 2007. *Análise geomorfométrica como subsídio ao mapeamento da vegetação*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, pp. 1607-1613.
- Valeriano, M.M. 2008. *Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais*. Relatório Técnico de Pesquisa – CNPq – INPE, São José dos Campos. 75p.
- Vieira, C. V.; Oliveira, F.A. 2004. *A cartografia digital como subsídio na análise geomorfológica do Morro dos Sargentos – Joinville/SC*. IN.: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC. pp.203-211.
- Villela, S.M.; Mattos, A. 1936. *Hidrologia Aplicada*. In: *Ciclo Hidrológico*. Villela, S.M., Mattos, A. (eds.). pp.: 1-5.
-
- _____ *Bacia Hidrográfica*. In: *Ciclo Hidrológico*. Villela, S.M., Mattos, A. (eds.). pp.: 6-28.

Anexo I: Revista submetida à Revista Geociências

O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: O estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, Bacia do ribeirão Arrudas

Autores:

Patrícia Elizamma Reis ¹

Maria Giovana Parizzi ²

Danilo Marques de Magalhães ³

Ana Clara Mourão Moura ⁴

- 1- Aluna de mestrado do programa de Pós-graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFMG. Endereço: Campus da UFMG - IGC sala 2045. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. e-mail: patyelizamma@yahoo.com.br
- 2- Professora Adjunto do Departamento de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFMG. Endereço: Campus da UFMG - IGC sala 2045. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. E-MAIL: mparizzi@ufmg.br; giece@uaigiga.com.br
- 3- Aluno do Curso de Geografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais – IGC/UFMG. Endereço: Campus da UFMG - IGC sala 2045. Avenida Presidente Antônio Carlos 6627, Pampulha, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 31270-901. E-MAIL- danzetrindade@yahoo.com.br
- 4- Professora Adjunto do Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Escola de Arquitetura da Universidade Federal de Minas Gerais. UFMG. Endereço: Rua Paraíba, 697 - sala 319 – Funcionários, Belo Horizonte, Minas Gerais. CEP: 30130-140 E-MAIL- anaclaramoura@yahoo.com

Número de Tabelas: 4

Número de Figuras: 11

Índice:

RESUMO	3
ABSTRACT	3
1.INTRODUÇÃO	5
2. ÁREA DE ESTUDO	6
3. BASES CONCEITUAIS	7
4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	11
4.1 VISITAS DE CAMPO	11
4.2 AVALIAÇÃO DAS CONDICIONANTES FÍSICAS DE FORMAÇÃO DE ENXURRADAS NA BACIA DO CÓRREGO DO LEITÃO	12
4.3 VERIFICAÇÃO SE AS ÁREAS DE INUNDAÇÕES DESCRITAS PELA SUDECAP/PBH (2009) LOCALIZAM PRÓXIMAS A ÁREAS DE ALTA A MUITA ALTA SUSCEPTIBILIDADE A FORMAÇÃO DE ENXURRADAS	14
4.4 OS EVENTOS DE INUNDAÇÃO E ALGAMENTO OCORRIDOS NOS LOCAIS AVALIADOS FORAM CORRELACIONADOS COM AS PRECIPITAÇÕES E A SUSCEPTIBILIDADE A FORMAÇÃO DE ENXURRADAS	15
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	16
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA DO CÓRREGO DO LEITÃO	17
5.1.1 DECLIVIDADE	17
5.1.2 CURVATURA	18
5.1.3 IMPERMEABILIZAÇÃO DO SOLO	17
5.2 ANÁLISE DO MAPAR FINAL – CRUZAMENTO DOS MAPAS BASES	19
5.4 AVALIAÇÃO DAS TAXAS DE PRECIPITAÇÃO DE DIAS DE OCORRÊNCIA DE EVENTOS HIDROLÓGICOS	21
6. CONCLUSÕES	23

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25
8. LEGENDA DE FIGURAS	27
9. LEGENDA DE TABELAS	27

Resumo

Inundações, enchentes, alagamentos e enxurradas no município de Belo Horizonte são freqüentes no período chuvoso. 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 drasticamente 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 escoamento superficial brusco 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, pertencente à bacia do ribeirão Arrudas, município de Belo Horizonte. O Método usado foi a Análise de Multicritérios que permitiu a elaboração do mapa de susceptibilidade à enxurradas a partir do cruzamento dos mapas de declividade, curvatura, áreas impermeáveis e áreas verdes e geologia. Estes mapas foram elaborados utilizando-se o software Arc gis 9.3 a partir de curvas de nível com espaçamento de 5m e imagens do *Google Earth*. O Mapa final mostrou que as áreas que apresentaram baixa susceptibilidade à formação de enxurradas coincidiram em vários pontos com áreas verdes, o que mostra que estas áreas, mesmo onde os solos apresentam baixa permeabilidade, permitem a retenção do escoamento superficial. Áreas com susceptibilidade média, alta a muita alta estão distribuídas ao longo de toda a bacia, mas foi possível determinar locais de maior susceptibilidade que podem ser correlacionados aos pontos com maior freqüência de inundações. Os mapas de áreas de inundação quando analisados de maneira isolada não retratam os condicionantes da inundação, 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-chaves: inundação, susceptibilidade a enxurradas, mapa, Belo Horizonte

Abstract

Floods, rising of river flow, flooding and runoff in the city of Belo Horizonte are frequent during the rainy season. 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 impervious 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 from the crossing of the maps of declivity, curvature and impervious areas and green areas in the basin. These maps were made using the software named Arc gis 9.3 from contour lines spaced at 5m and Google Earth images. 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, indicating that these areas, even when soil has a low permeability, allowing the reduction of runoff.

Areas with moderate to very high susceptibility to the formation of runoff are distributed throughout the basin of the Leitão creek, but it was possible to determine the sites of highest susceptibility that can be correlated with the locations described as sites 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 tem 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. Nos últimos anos o município de Belo Horizonte tem sofrido drasticamente 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.

De acordo com AMARAL e 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 justificar a ocorrência de graves 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 multicritério 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).

2 . ÁREA DE ESTUDO

A sub-bacia do Córrego do Leitão, com área de 10,62 Km², 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**).

Inserir Figura 1: Mapa de Localização da bacia Córrego do Leitão

A área da bacia apresenta altitude mínima de 845m e máxima de 1155m (**Figura 2**) e sua rede de drenagem encontra-se, de montante a jusante, entre as altitudes de 1117m a 845m.

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 .

Inserir Figura 2: Mapa altimétrico bacia Córrego do Leitão

A bacia do Córrego do Leitão está inserida em grande parte sobre as unidades geológicas do Quadrilátero Ferrífero e abrange, 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. E 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.

Inserir Figura 3: Mapa Geológico da bacia Córrego do Leitão (modificada de SILVA *et al.*, 1995 e TULER *et al.*, 2007)

3. BASES CONCEITUAIS

Segundo AMARAL e 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 *apud* 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 carregado 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 freqüentemente e com maiores conseqüências.

De acordo com MIN. 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 inundação 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) define 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 inundação nas áreas ribeirinhas. Os problemas gerados por esse tipo de inundação 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 inundação 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 (MIN.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 (MIN.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 escoam-se de forma rápida e intensa. Assim, de acordo com AMARAL e 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 *apud* SILVEIRA, 2007).

4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

4.1 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, de acordo com a Tabela 1.

Inserir Tabela 1 – Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2009. (Fonte: Jornal do Estado de Minas, 2008, 2009)

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 e os graves acidentes retornaram durante os períodos chuvosos. 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.

4.2 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 à 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 Arcgis 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 à formação de enxurradas e quanto maior a nota maior a susceptibilidade à 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. Considerou-se para as áreas impermeáveis as áreas urbanizadas, enquanto que, para as áreas verdes, os parques e lotes vagos.

Logo após a confecção dos mapas, os mesmos foram, então, reclassificados adotando valores 0 a 10 de acordo com a importância para a formação de enxurradas, conforme a **Tabela 2**.

Para reclassificá-los utilizou-se a ferramenta *Reclassify* em *Spatial Analyst*.

Inserir Tabela 2: Características utilizadas para a definição das áreas susceptíveis à formação de enxurradas, suas classes e notas atribuídas a cada classe.

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, conseqüentemente, 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 conforme STABILE *et al.* (2008), que consideraram valores negativos como côncava, positivo como convexo e valores próximos de zero como curvatura retilínea. Estas valorações também por ser afirmadas por MOREIRA *et al.* (1998), os quais descrevem que quando uma vertente apresenta seus ângulos de declividade constantes tem uma curvatura retilínea, quando os ângulos aumentam continuamente para baixo tem uma curvatura positiva (convexa) e finalmente quando ocorre dos ângulos decrescerem para baixo tem uma curvatura negativa (côncava).

Para as áreas verdes foram consideradas a geologia correspondente de cada local e assim feita a valoração para cada uma. A determinação dos valores para cada geologia está de acordo com a característica de permeabilidade que possui. SILVA *et al.* (1995) descreve 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, adotou-se os valores entre 3 e 5 para classificar estas geologias presentes nas áreas verdes descritas (**Tabela 3**). 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 geologia dentro da bacia. E para as áreas impermeáveis devido à urbanização adotou-se o valor 10.

Inserir Tabela 3: Valores adotados para a geologia das áreas verdes

Como resultado da análise de Multicritérios tem-se um mapa de susceptibilidade a formação de enxurradas que foi reclassificado de acordo com a tabela 4 em quatro classes.

Inserir Tabela 4: Classes de susceptibilidade à formação de enxurradas

Além destes mapas 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 (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.

4.3 Verificação se as áreas de inundações descritas pela SUDECAP/PBH (2009) se localizam próximas a áreas de alta a muita alta susceptibilidade 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 nestes mapas. Estas manchas localizam-se nas ruas Joaquim Murtinho 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.

Assim foi possível correlacionar se estas áreas estão localizadas próximas a áreas com muito alta a alta susceptibilidade à enxurradas e se as inundações locais são agravadas pelas enxurradas. E, a partir daí, associar as áreas de inundações descritas pela SUDECAP/PBH (2009) às áreas com muito alta a alta susceptibilidade à formação de enxurradas.

4.4 Os eventos de inundação e alagamento ocorridos nos locais avaliados foram correlacionados com as precipitações e a 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 obtidos.

Para quantificar essas precipitações, estas foram monitoradas utilizando os pluviógrafos instalados na bacia. Em Belo Horizonte existem 12 pluviógrafos automáticos 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 se 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, 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.

5 Resultados e Discussões

5.1 Caracterização da Bacia Córrego Leitão

5.1.1 Declividade

As cinco classes do mapa base de declividade resultante foram definidas de acordo DE BIASI (1992 *apud* VIEIRA *et al.*, 2004) e através do mapa de declividade de Belo Horizonte elaborado pelo Convênio CEFET-UFV/PBH (2007) (**Figura 4**).

VIEIRA *et al.* (2004) descreve 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 pôde-se definir qualitativamente as classes de susceptibilidade a formação de enxurradas em: muito alta, alta, média, baixa e muito baixa.

Inserir Figura 4: Mapa base de Declividade bacia Córrego do Leitão

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 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.

Na 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 845m a 875m (**figura 2**).

5.1.2 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 retilínea os valores próximos de zero seguindo os procedimentos realizados por STABILE *et al.* (2008).

Inserir Figura 5: Mapa base de curvatura bacia Córrego Leitão

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 superfície, proporcionados pela gravidade (VALERIANO *et al.* 2007).

DIETRICH & MONTGOMERY (1998 *apud* SANTOS, 2008) 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 *apud* SANTOS, 2008). 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 *apud* SANTOS, 2008).

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 (**figura 7**) 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.

5.1.3 Impermeabilização do Solo

Para a construção do mapa base de áreas impermeáveis e áreas verdes foram consideradas para as áreas verdes as áreas de parques e lotes desocupados, e, para áreas impermeáveis as áreas urbanizadas. Além disso, as áreas verdes foram combinadas com a geologia correspondente de cada uma, após o cruzamento com o mapa geológico (**Figura 6**).

Inserir Figura 6: Mapa áreas impermeáveis e áreas verdes bacia Córrego do Leitão

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 declividades 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 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.

5.2 Mapa de 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.

Inserir 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)

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 muita 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 do Aglomerado Santa Lúcia. 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 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 Heliodora 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 (concavidade) do arruamento com relação à avenida Prudente de Moraes, avenida da esquina, o que torna a drenagem deficiente e induz alagamento (**Figura 8**).

Inserir Figura 8: Rua Joaquim Murtinho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. A linha contínua e as setas demonstram a concavidade descrita. (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, um pela Avenida Prudente de Moraes (canal principal) e outra a 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 escoar 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 da 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.

Inserir Figura 9: Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leitão

5.3 Avaliação das taxas de precipitações de 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 07 de outubro de 2009 no mesmo local da data anterior, resultou em um pico de 61,4 mm às 21hs, que foi reduzido a 0,2mm 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 vítimas. (**Figuras 10 e 11**)

Inserir Figura 10: Chuva de 16 de março de 2009

Inserir Figura 11: Chuvas de 15 de janeiro de 2010

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**), por exemplo, conclui-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**.

6 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 galeria de drenagem, e 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.

7. Referências Bibliográficas

AMARAL, R; RIBEIRO, R.R. 2009. Enchentes e Inundações. In: Desastres Naturais, conhecer para prevenir. Tominaga, L.K; Santoro, J; Amaral, R. (Organizadores). Instituto Geológico, São Paulo. p. 40-53.

ANJOS, D.S. 2008. Classificação da curvatura de vertentes em perfil via *thin plate spline* e inferência fuzzy. Dissertação de Mestrado – Universidade Estadual Paulista UNESP, 97 p.

ARAÚJO, E.P, 2006. Aplicação de dados SRTM à modelagem da erosão em microbacias por geoprocessamento. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos. 88p.

BRAGON, R. Temporal causa morte e prejuízos em Belo Horizonte (MG). Especial para o UOL Notícias. Disponível em: www.uol.com.br. Acesso em 03/06/09.

CASTRO, A.L.C.; CALLHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; BRINGEL, M.L.N.C. 2003.

Manual de Desastres Naturais – Volume I. Ministério da Integração Nacional. Brasília. 174p.

CASTRO, A.L.C.; CALLHEIROS, L.B.; CUNHA, M.I.R.; COELHO, A.L. N. 2007.

Aplicações de geoprocessamento em bacias de médio e grande porte. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2437-2445.

CRISTO, S.S.V. 2002. Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa

Catarina. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina. 211pp.

ECKHARDT, R R.; Saldanha, Dejanira Luderitz; Rocha, Ronaldo dos Santos da. 2008. 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 – CEPSRM. Revista Brasileira de Cartografia No 60/03. (ISSN 1808-0936).

GUIMARÃES, L.J.R. 2008. Levantamento das áreas potenciais ao assoreamento da barragem Piraquara I. Dissertação de Mestrado, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, 90 p.

JORNAL ESTADO DE MINAS, 2008, 2009 – Disponível em <http://www.estaminas.com.br/> (último acesso em 11 de 2010)

MAGALHÃES, F. D. DE. Chuva causa alagamentos em BH. Disponível em: www.uai.com.br. Acesso em 07/06/2010.

MINISTÉRIO DAS CIDADES (Brasil); IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas. 2007 – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Organizadores: Carvalho, C.S., Macedo, E. S., Ogura, A.T.; Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

MOREIRA, V. R.; Neto, A.G.P. 1998. Geologia de Engenharia. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia. São Paulo, capítulo 5.

MOURA, A. C. M. 2007. Reflexões metodológicas como subsídios para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Departamento de Cartografia. Universidade Federal

de Minas Gerais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 2899-2906.

PINHEIRO, A. As inundações no Brasil. 2007. *In*: 2º Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais e Tecnológicos, Santos.

SANTOS, R.F.S, organizadora. 2007. Vulnerabilidade Ambiental. Brasília: MMA, 192 pp.

SANTOS, W.; VIEIRA, B.C. 2008. Influência de fatores topográficos na distribuição de escorregamentos translacionais rasos na serra do Mar, Cubatão (SP). Departamento de Geografia– FFLCH/USP.

SILVA, A. S., CARVALHO, E. T. FANTINEL, L. M., ROMANO, A. W., VIANA, C. S. 1995. Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte. Relatório Final. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/ UFMG. 490pp.

SILVEIRA, R.D. 2007. Relação entre tipos de tempo, eventos de precipitação extrema e inundações no espaço urbano de São Sepé, RS. Dissertação de mestrado, Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, 154 pp.

SOBRINHO, T.A.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. 2010. Delimitação de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. 2010. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.30, n.1, p.46-57.

STABILE, R.A.; VIEIRA, B.C. 2008. O papel do ângulo da encosta e da forma das vertentes na distribuição das feições erosivas da bacia Água da Faca, Piratininga (SP). Universidade de São Paulo.

SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL (SUDECAP). Secretaria Municipal de Políticas Urbanas. Prefeitura de Belo Horizonte. 2009. Carta de Inundações de Belo Horizonte – Identificação de áreas potencialmente susceptíveis.

TULLER, M.O.; CALIJURI, M.L.; MARQUES, E.A.G. 2007. Automação Digital dos Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais integrados no município de Belo Horizonte, MG. Anais do 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental – 6SBCGG. ABGE. Uberlândia, MG. 17p.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L.L., BARROS, M.T. (organizadores). 1995. Drenagem urbana. Porto Alegre: ABRH, Editora da Universidade, UFRGS. Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.25

TUCCI, C.E.M., BERTONI, J.C. (orgs.). 2003. Apostila de Inundações Urbanas da América Latina. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 129 pp.

VALERIANO, M. M.; BISPO, P.C.;KUPLICH,T.M. 2007. Análise geomorfométrica como subsídio ao mapeamento da vegetação. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, INPE, p. 1607-1613.

VIEIRA, C. V.; OLIVEIRA, F.A. 2004. A cartografia digital como subsídiona análise geomorfológica do Morro dos Sargentos – Joinville/SC. IN.: Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais, Florianópolis. Anais... Florianópolis: GEDN/UFSC. p.203-211.

8. Legendas de figuras

Figura 1: Mapa de Localização da bacia Córrego do Leitão

Figura 2: Mapa altimétrico bacia Córrego do Leitão

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

Figura 4: Mapa base de Declividade bacia Córrego do Leitão

Figura 5: Mapa base de curvatura bacia Córrego Leiteão

Figura 6: Mapa áreas impermeáveis e áreas verdes bacia Córrego do Leiteão

Figura 7: Mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia córrego do Leiteão (de 1 a 8 são pontos especiais descritos no texto; a e b são as áreas de inundação)

Figura 8: Rua Joaquim Murтинho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. A linha contínua e as setas demonstram a concavidade descrita. (Foto – Patrícia E. Reis, Outubro 2010).

Figura 9: Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leiteão

Figura 10: Chuva de 16 de março de 2009

Figura 11: Chuvas de 15 de janeiro de 2010

9. Legenda de Tabelas

Tabela 1 – Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2009. (Fonte: Jornal de Estado de Minas, 2008, 2009)

Tabela 2: Características utilizadas para a definição das áreas susceptíveis à formação de enxurradas, suas classes e notas atribuídas a cada classe.

Tabela 3: Valores adotados para a geologia das áreas verdes

Tabela 4: Classes de susceptibilidade à formação de enxurradas

10. Agradecimentos

Ao Instituto de Geociências da UFMG, especialmente o programa de pós-graduação de Geologia, pelo apoio logístico e incentivo aos estudos avançados. A FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais) pelo apoio financeiro (Processo CRA – 1191/05) para aquisição de pluviógrafos da rede de monitoramento de Belo Horizonte. À URBEL/PBH (Cia Urbanizadora de Belo Horizonte – Prefeitura Municipal) pelo convênio e parceria com a UFMG ao acesso e interpretação de dados sobre ocorrências de acidentes geológicos e monitoramento dos eventos climáticos. Ao CNPq (Conselho Nacional de Apoio à Pesquisa) pelo financiamento para aquisição do Software ARCGIS 9.3 (processo CNPq:555776/2006-9).

FIGURAS

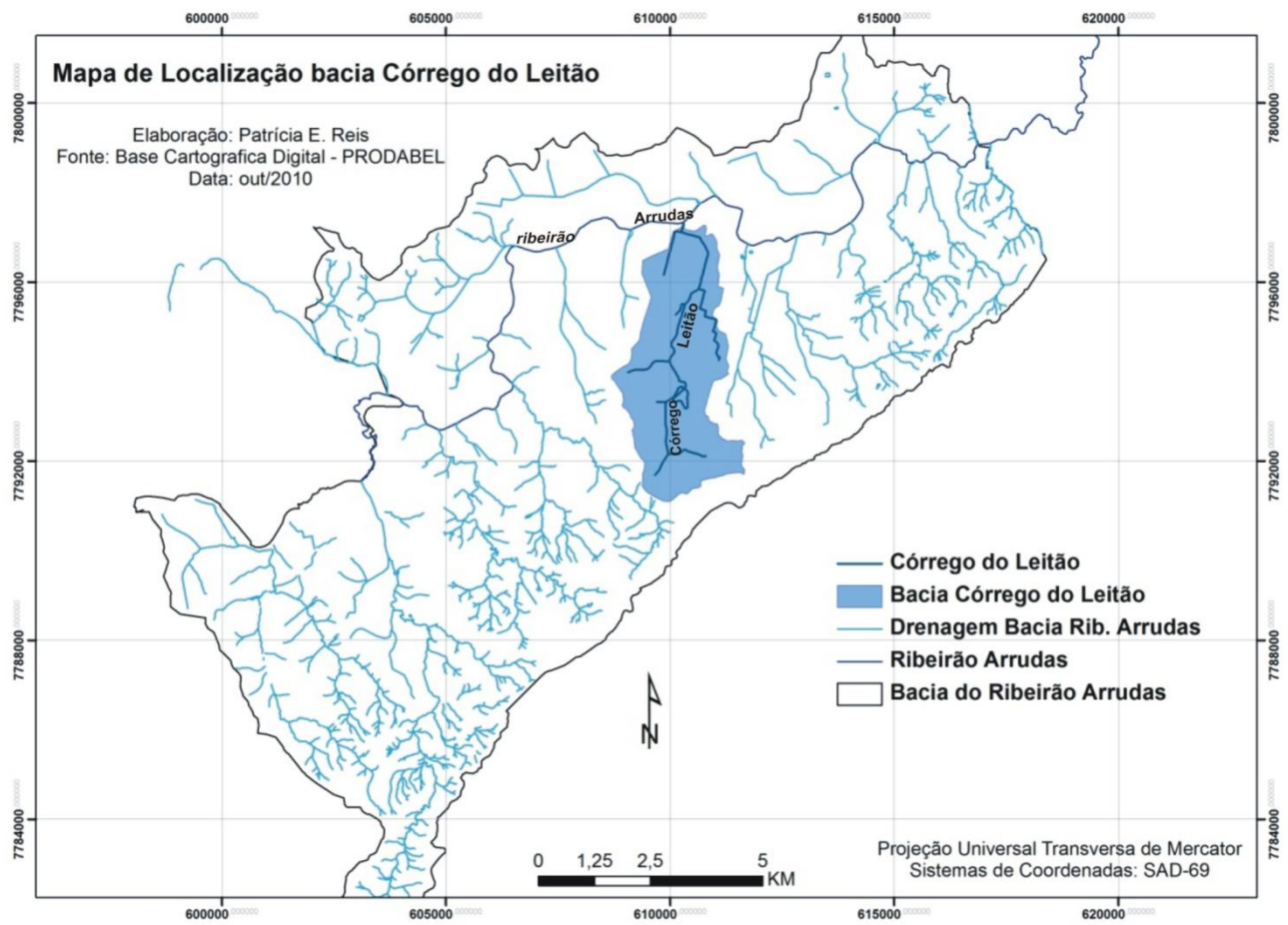


Figura 1: Mapa de Localização da bacia Córrego do Leiteão

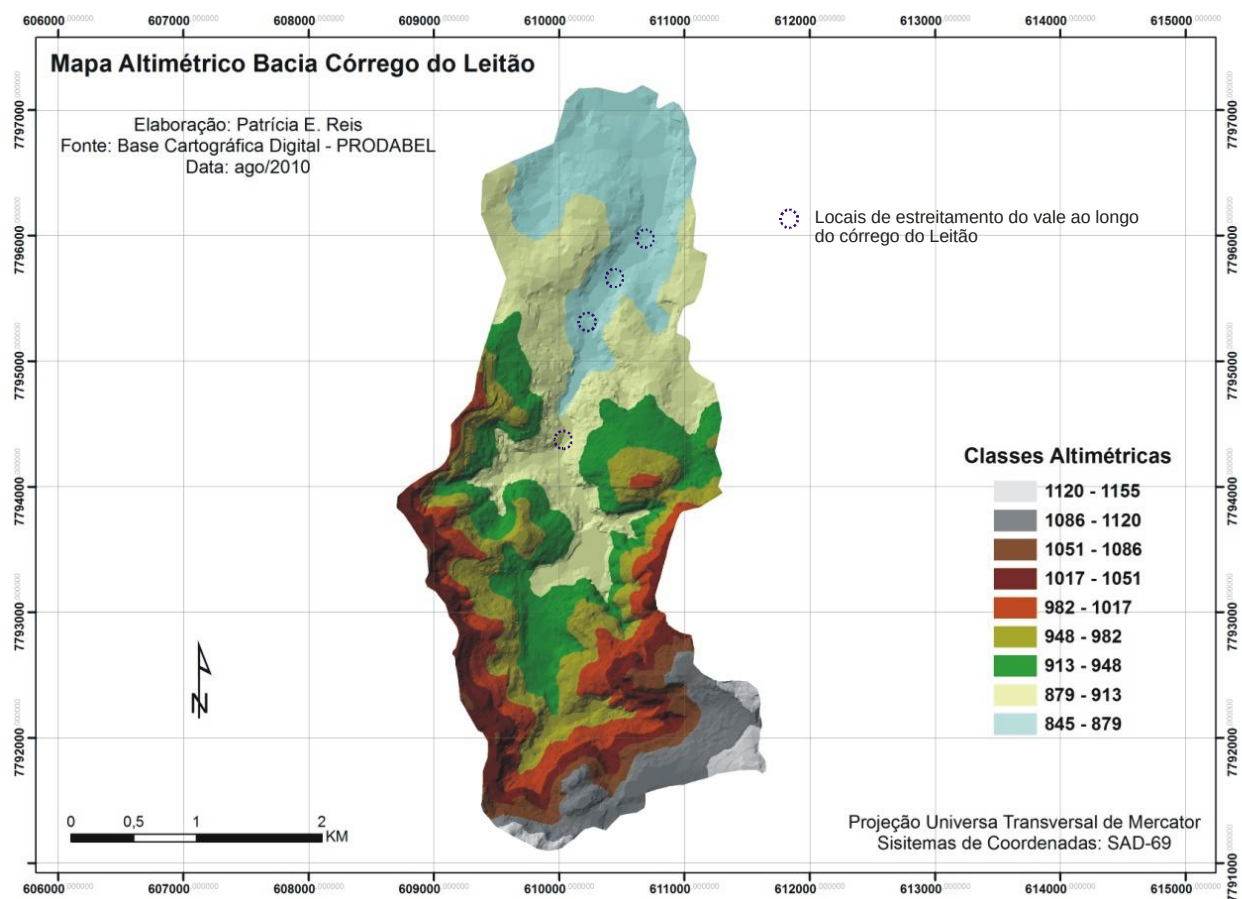


Figura 2: Mapa altimétrico bacia Córrego do Leitão

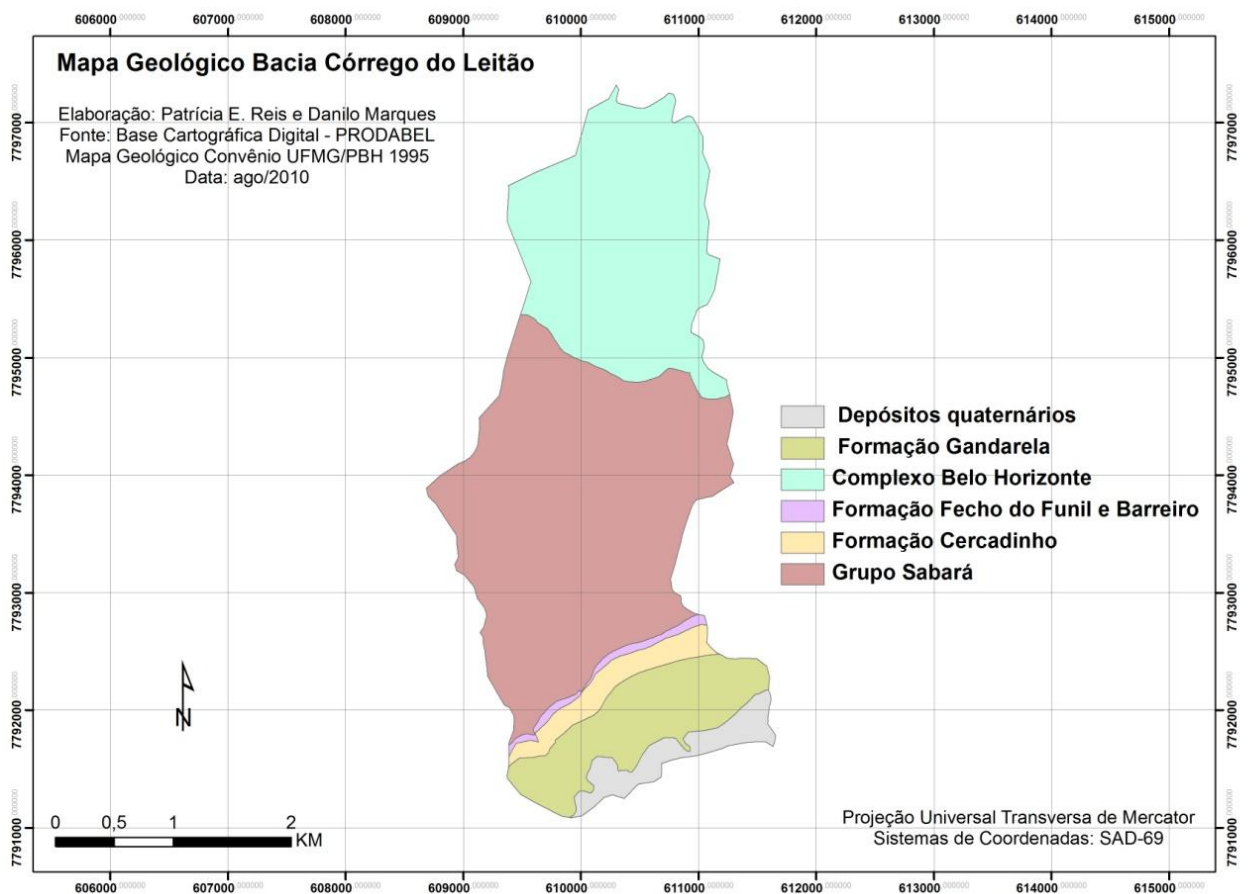


Figura 3: Mapa Geológico da bacia Córrego do Leitão (modificada de Silva *et al.*, 1995 e Tuler *et al.*, 2007)

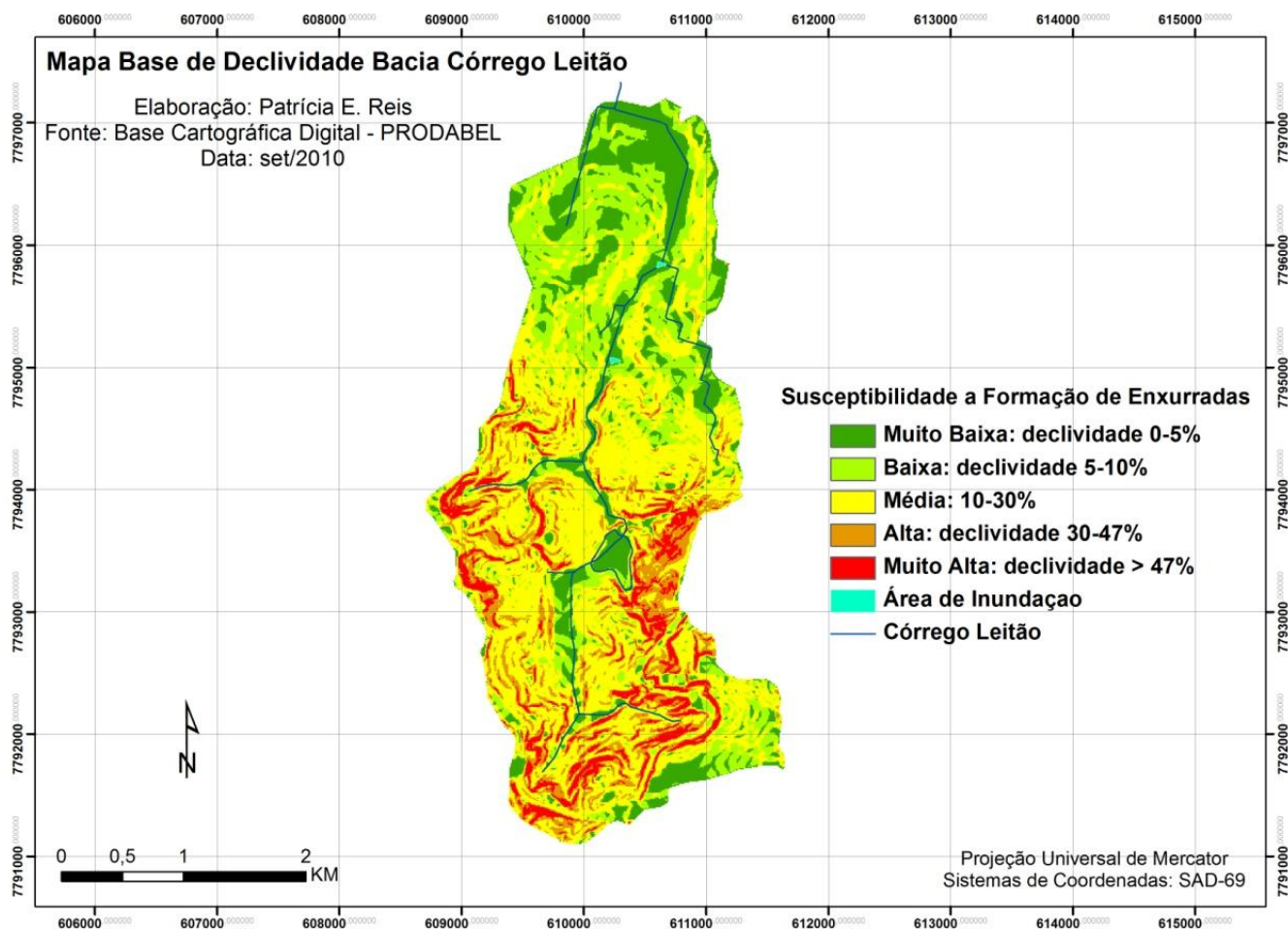


Figura 4: Mapa base de Declividade bacia Córrego do Leitão

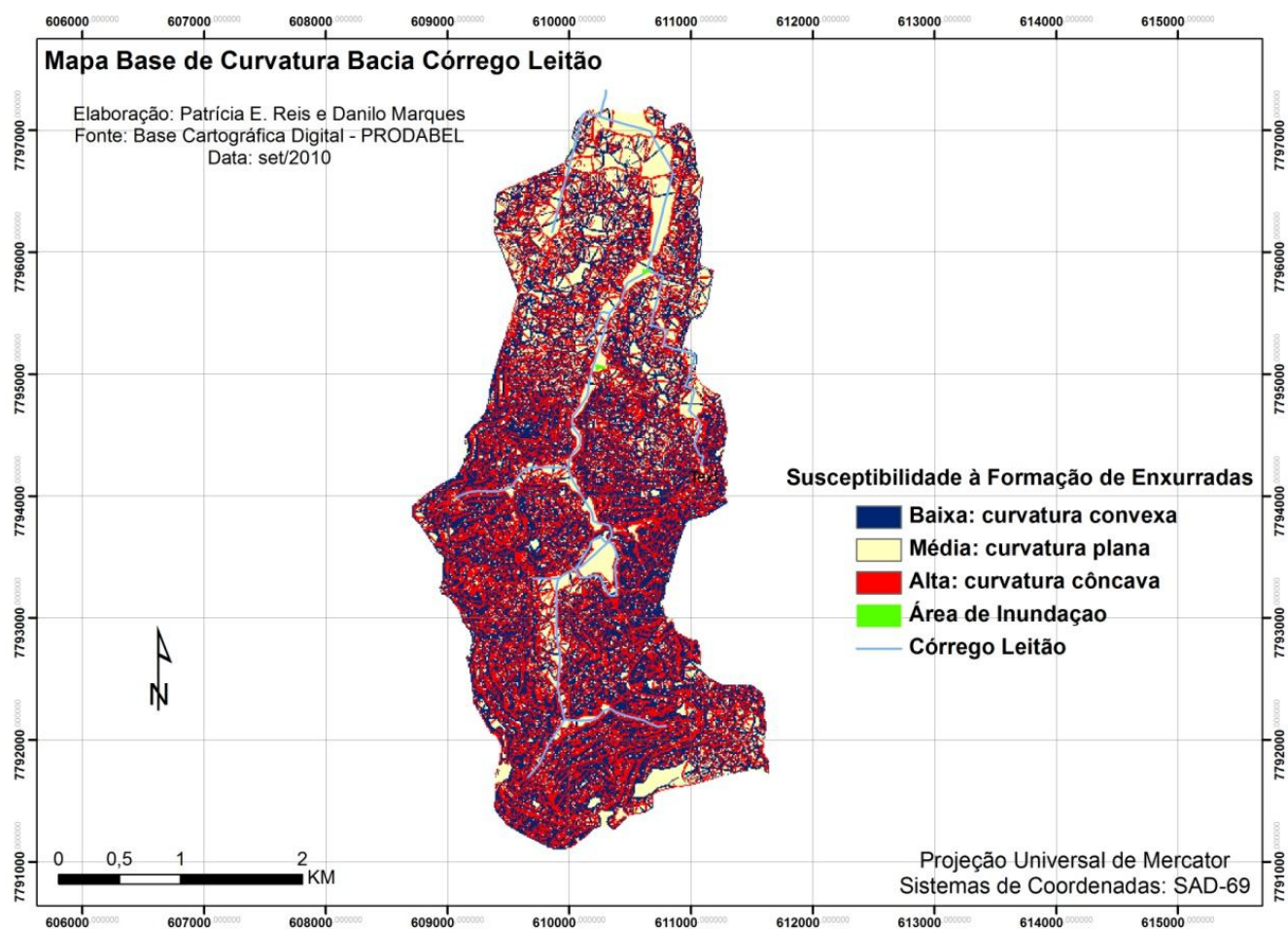


Figura 5: Mapa base de curvatura bacia Córrego Leitão

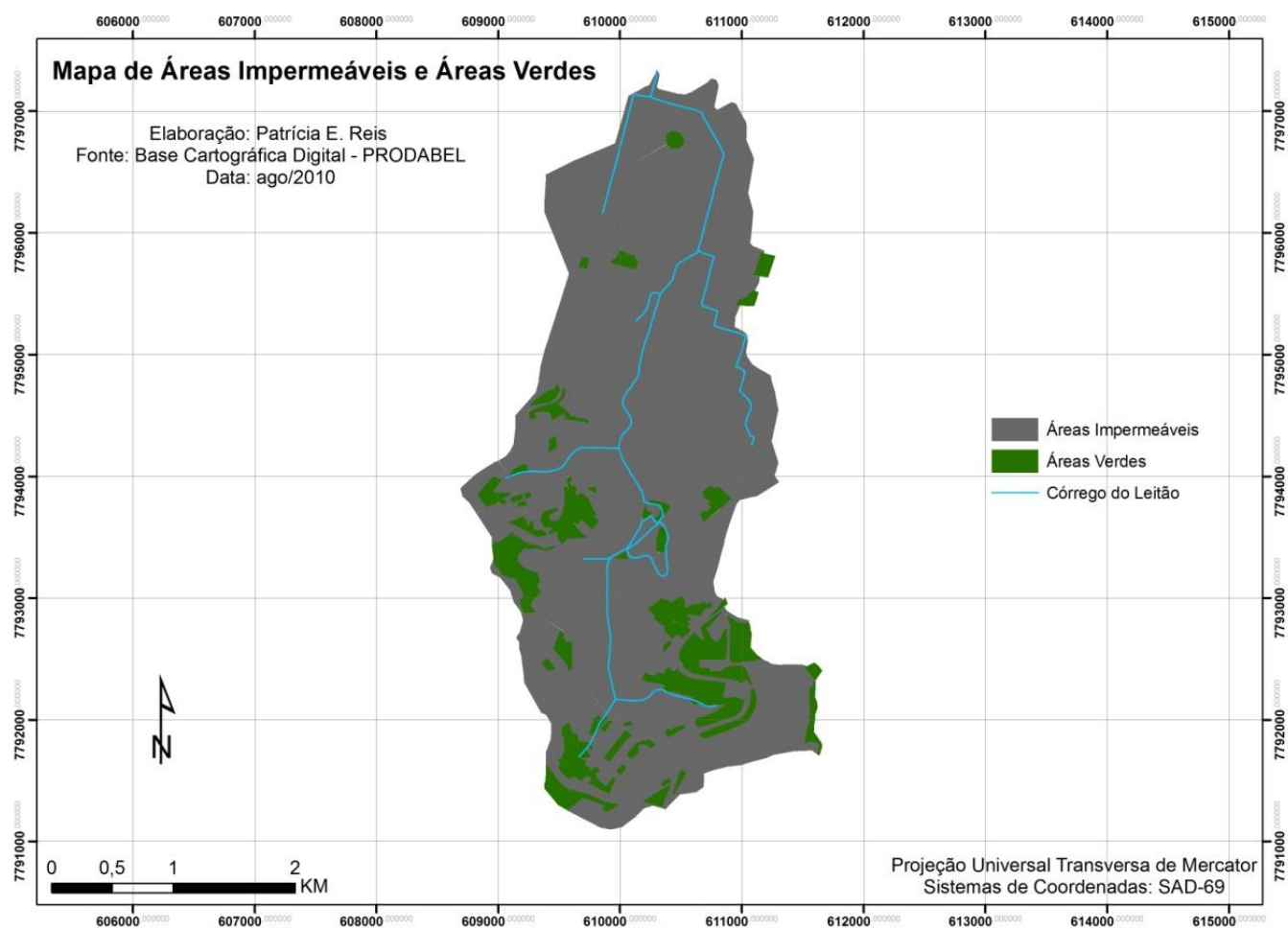


Figura 6: Mapa áreas impermeáveis e áreas verdes bacia Córrego do Leitão

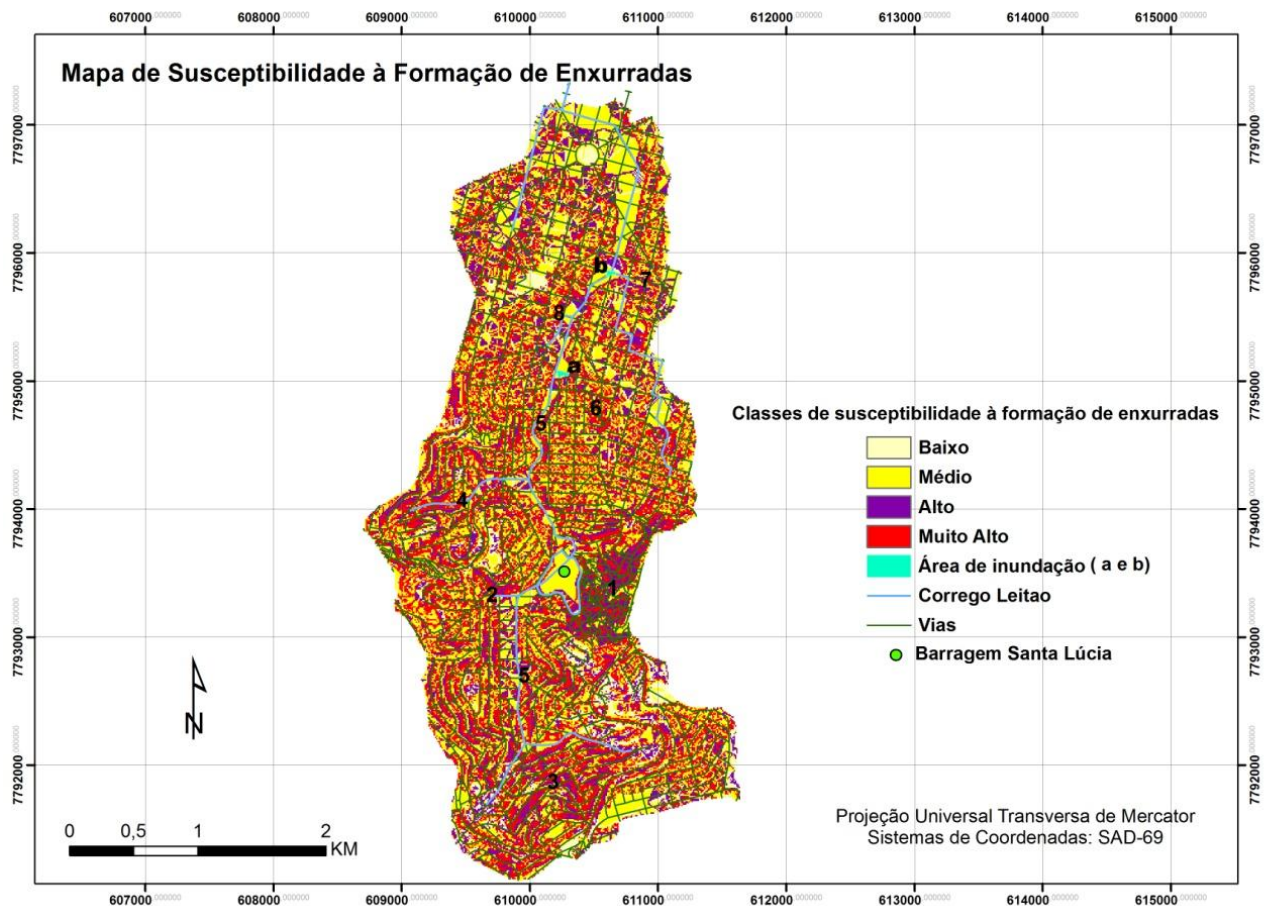


Figura 7: Mapa de susceptibilidade à formação de enxurradas da bacia córrego do Leitão (de 1 a 8 são pontos especiais descritos no texto; a e b são as áreas de inundação)



Figura 8: Rua Joaquim Murtinho, esquina com Av. Prudente de Moraes. Observar que os veículos estão em posição de subida diante da faixa branca. A linha contínua e as setas demonstram a concavidade descrita. (Foto – Patrícia E. Reis, Outubro 2010).

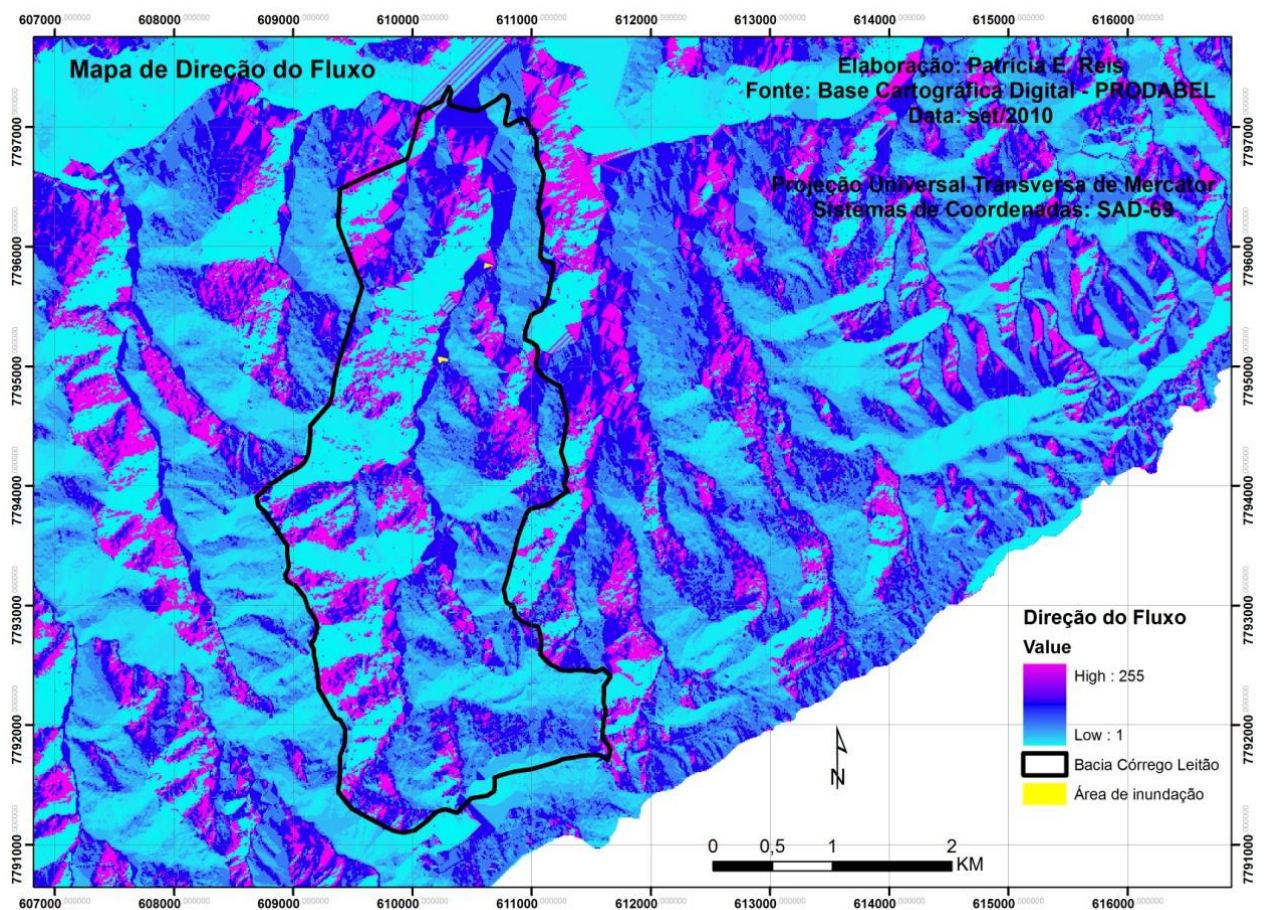


Figura 9: Mapa Direção do Fluxo bacia Córrego do Leitão

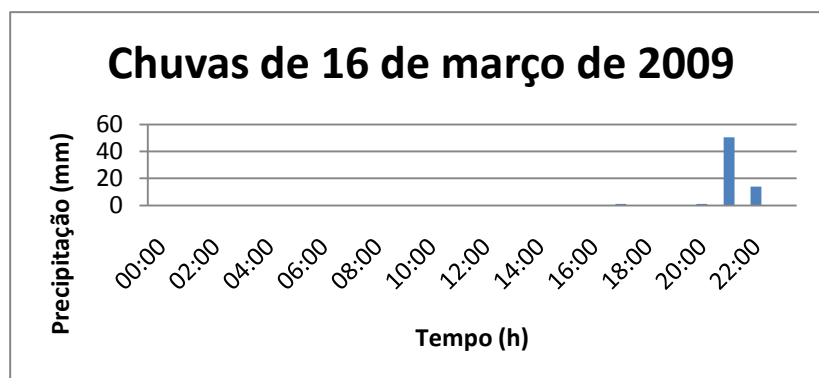


Figura 10: Chuva de 16 de março de 2009

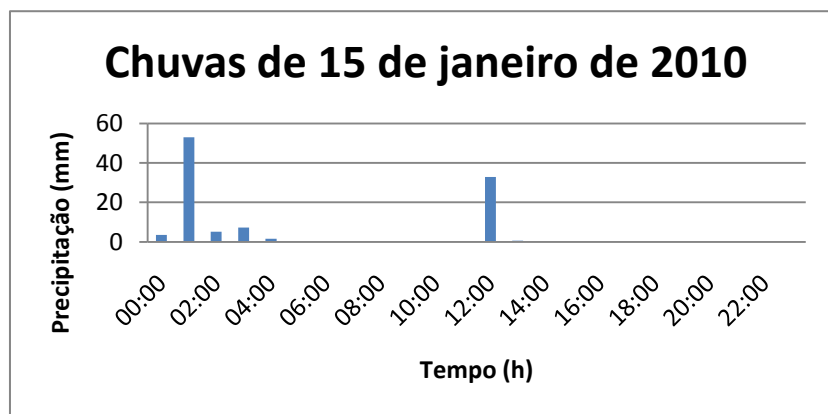


Figura 11: Chuvas de 15 de janeiro de 2010

Tabela 1 – Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2009. (Fonte: Jornal de Estado de Minas, 2008, 2009)

Data do Evento	Local	Evento
15/12/2008	Av. Cristiano Machado	alagamento
15/12/2008	Av. Sebastião de Brito	enchente
15/12/2008	Regional Leste	enchente
15/12/2008	Bairro Granja de Freitas/Regional Leste	inundação (Rib. Arrudas não canalizado)
18/12/2008	Av.Mendes Pimentel/UFMG	alagamento devido ao transbordamento do Córrego Mergulhão
31/12/2008	Av.Teresa Cristina/Reg. Oeste e Noroeste	inundação (rib. Arrudas)
20/01/2009	Anel Rodoviário próximo a Av. Carlos Luz e aeroporto Carlos Prates	alagamento
20/01/2009	Av. Amazonas	alagamento
22/01/2009	Av.Teresa Cristina - Regional oeste	inundação e alagamento (ribeirão Arrudas)
22/01/2009	Região do Barreiro	alagamento
22/01/2009	Avenida Olinto Meireles/Barreiro	inundação

22/01/2009	Bairro Tirol no Barreiro e Bairro Betânia	alagamento
16/03/2009	Av. Prudente de Moraes	enxurrada brusca
16/03/2009	Bairro Prado, Rua Erê	alagamento e enxurradas
16/03/2009	Bairro Salgado Filho	inundação (ribeirão Arrudas)

Tabela 2: 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

Tabela 3: 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 4: 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

Anexo II: Currículo da autora

PATRÍCIA ELIZAMMA REIS

Engenheira Ambiental - Escola de Minas/UFOP
Especialista em Gestão Ambiental - Faculdade Vale do Piranga

EXPERIÊNCIA PROFISSIONAL

Mapeamento Ambiental (ArcMap 9.3)
Análises físicas de bacias hidrográficas
Elaboração de relatórios ambientais para consultoria ambiental
Supervisão ambiental em estradas
Fiscalização e gerenciamento ambiental em obra de gasoduto
Professora de geotecnia básica e gestão ambiental para cursos técnicos de Mineração e Metalurgia.
Educação Ambiental
Conhecimentos de legislação ambiental, processo de licenciamento ambiental e destinação de resíduos.

EMPRESAS/INSTITUIÇÕES

2011 a atual – JP Gerenciamento LTDA

Cargo: Técnica de Meio Ambiente

2009 - 2010: PROSUL – Projetos, Supervisão e Planejamento LTDA

Cargo: Fiscal/Gerenciadora/Técnica de Meio Ambiente

2007 - 2008: Escola Politécnica Ramos – Congonhas/MG

Cargo: Professora

2007 – 2007: D & L Projetos e Consultoria Ambiental

Cargo: Consultora Ambiental

2005 - 2007: Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Ouro Preto/MG

Cargo: Estagiária

2005-2005: Secretaria de Serviços Urbanos e Meio Ambiente de Ipatinga/MG

Cargo: Estagiária

IDIOMAS

Inglês: lê bem, compreende bem, fala razoavelmente e escreve razoavelmente.

CURSOS DE CAPACITAÇÃO DE CURTA DURAÇÃO

Curso de Arc Gis 9.3 – IGC/UFMG ministrado pelas Prof.^a Dr. Eliane Voll e Prof.^a Karin Voll (UFMG).

Curso de Capacitação de Gestores Municipais – SEMAD / SISEMA.

III Curso de Educação Ambiental e Cidadania - Universidade Federal de Ouro Preto.

Risco Geológico em Áreas Urbanas. II Simpósio Mineiro de Engenharia Ambiental - UFV

INFORMÁTICA

Windows, Word, Excel, Internet, PowerPoint e ArcGIS 9.3.