

Universidade Federal de Minas Gerais

Departamento de Geografia

Joana Maria Drumond Cajazeiro

ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À FORMAÇÃO DE INUNDAÇÕES NAS
BACIAS E ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DO RIBEIRÃO ARRUDAS E
CÓRREGO DA ONÇA EM TERMOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS E
IMPERMEABILIZAÇÃO

Minas Gerais – Brasil

Abril - 2012

Joana Maria Drumond Cajazeiro

ANÁLISE DA SUSCEPTIBILIDADE À FORMAÇÃO DE INUNDAÇÕES NAS
BACIAS E ÁREAS DE CONTRIBUIÇÃO DO RIBEIRÃO ARRUDAS E
CÓRREGO DA ONÇA EM TERMOS DE ÍNDICES MORFOMÉTRICOS E
IMPERMEABILIZAÇÃO

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação do Departamento de
Geografia da Universidade Federal de Minas
Gerais, como requisito à obtenção do título
de Mestre em Geografia.

Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Pereira Magalhães Júnior

Co-Orientadora: Maria Givana Parizzi

Belo Horizonte

Departamento de Geografia da UFMG

2012

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado a possibilidade de concluir esse mestrado. Ao Daniel, meu eterno amor, ao carinho, dedicação, compreensão e à escuta nos momentos difíceis. À Gigi, meu exemplo de profissional, de carinho e para sempre minha guia! Ao Antônio, meu orientador, pela calma, pela ajuda no momento de necessidade e pela confiança. À minha família pela minha formação pessoal e acadêmica. Aos meus colegas de turma, que fizeram todos os momentos parecerem melhores.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVOS.....	23
2.1. Objetivo Geral	23
2.2. Objetivos Específicos.....	23
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
3.1. O fenômeno das Inundações.....	24
3.2. Alagamentos e Enxurradas.....	28
3.3. Morfometria de bacias hidrográficas	29
3.3.1 Classe Linear.....	30
3.3.1.1. Relação entre os gradientes dos canais (Rgc).....	31
3.3.2 Classe Zonal.....	31
3.3.2.1 Índice de Circularidade (Ic)	32
3.3.2.2 Densidade de drenagem (Dd).....	32
3.3.3 Classe Hipsométrica.....	33
3.3.3.1 Índice de Rugosidade (Ir)	33
3.4 Modelagem e geoprocessamento.....	34
4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	36
4.1. Geologia da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.....	36
4.2. Geomorfologia.....	38
4.3. Clima.....	41
4.4. Bacias Hidrográficas	43
4.5. Uso e Ocupação do Solo	45

5- METODOLOGIA.....	47
5.1. Definição da área de estudo.....	48
5.2. Revisão bibliográfica	49
5.3. Definição dos parâmetros morfométricos	50
5.3.1 Relação entre Gradientes dos Canais	50
5.3.2 Índice de Circularidade	51
5.3.3 Densidade de Drenagem.....	51
5.3.4 Índice de Rugosidade	52
5.4 Mapeamentos.....	52
5.4.1 Mapa de Localização de Belo Horizonte.....	52
5.4.2 Mapa das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e Limite Municipal de Belo Horizonte.....	53
5.4.3 Mapa da Dinâmica de Ocupação de Belo Horizonte entre 1918 e 2007.....	53
5.4.4 Mapa das Manchas de Inundação do Município de Belo Horizonte	53
5.4.5 Mapa de Unidades Geológicas das Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça	54
5.4.6 Mapa Hipsométrico e Mapa de Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça	54
5.4.7 Mapa de Visualização do Uso e Ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth	55
5.4.8 Mapa de Relação entre os Gradientes de canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça	55
5.4.9 Mapa de Índice de Circularidade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça	56
5.4.10 Mapa da Densidade de Drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça	57

5.4.11 Mapa do Índice de Rugosidade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça	58
5.4.12 Análise Integrada dos Fatores Morfométricos.....	59
5.4.13 Análise da Impermeabilização do Solo	60
5.4.14 Análise Integrada da Impermeabilização do Solo e da Morfometria.....	60
5.4.15 Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.....	61
6- RESULTADOS	62
6.1. Análise dos Fatores Morfométricos	62
6.1.1. Análise Individual dos Fatores Morfométricos.....	62
6.1.1.1 Relação entre Gradientes de Canal.....	62
6.1.1.2 Índice de Circularidade.....	66
6.1.1.3 Densidade de Drenagem	71
6.1.1.4 Índice de Rugosidade	76
6.1.2. Análise Integrada dos Fatores Morfométricos.....	80
6.2. Análise da Impermeabilização do solo	84
6.2.1. Análise Individual da Impermeabilização do Solo	84
6.2.2. Análise Integrada da Impermeabilização do Solo e Morfometria	86
6.3 Análise do Resultado de Obras de Canalização de Cursos Fluviais em Belo Horizonte	90
7- CONSIDERAÇÕES FINAIS	94
8- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	96

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ocorrência e impactos dos desastres naturais no primeiro semestre de 2011 segundo tipo de desastre.	12
Figura 2: Mapa de Localização de Belo Horizonte-MG.....	15
Figura 3: Mapa das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e Limite Municipal de Belo Horizonte.....	16
Figura 4: Mapa da dinâmica de ocupação de Belo Horizonte entre 1918 e 2007.....	17
Figura 5: Mapa de Manchas de inundação de Belo Horizonte.....	19
Figura 6: Núcleos de Alerta de Chuvas.....	23
Figura 7: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação.....	24
Figura 8: A influência da urbanização em diferentes etapas do ciclo da água.....	26
Figura 9: Mapa de unidades geológicas das Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça.	37
Figura 10: Mapa hipsométrico da Bacia do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça.....	39
Figura 11: Mapa de Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.	40
Figura 12: Normal climatológica de precipitação de chuva em mm de Belo Horizonte (1961-1990).	42
Figura 13: Normal climatológica de precipitação de temperatura em °C de Belo Horizonte (1961-1990).	42
Figura 14: Bacias hidrográficas do Município de Belo Horizonte e Contagem.....	44

Figura 15: Mapa de visualização do uso e ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth	46
Figura 16: Organograma da metodologia de trabalho.	47
Figura 17: Organograma dos procedimentos de cruzamento de mapas para Análise Multicritério.....	48
Figura 18: Mapa de Relação entre os Gradientes dos Canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça.....	63
Figura 19: Mapa da Relação entre os Gradientes dos canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das manchas de inundação.	65
Figura 20: Mapa de Índice de Circularidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.	67
Figura 21: Mapa do Índice de Circularidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação.	69
Figura 22: Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.	72
Figura 23: Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação	74
Figura 24: Mapa do Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.	77
Figura 25: Mapa do Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação.	79
Figura 26: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça	81

Figura 27: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das manchas de inundação	83
Figura 28: Mapa das Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.....	85
Figura 29: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça.....	87
Figura 30: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão da Onça e do Ribeirão Arrudas com inclusão das Manchas de Inundação.....	89
Figura 31: Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça sobre mapa de Susceptibilidade à inundações conforme a Morfometria e Impermealização do Solo.....	91
Figura 32: Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das manchas de inundação.....	93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao número de mortos.....	13
Tabela 2: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao número de pessoas afetadas.....	13
Tabela 3: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao gasto econômico.....	14
Tabela 4: Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2010.....	20
Tabela 5: Tabela de graus de suscetibilidade da declividade à erosão.....	54
Tabela 6: Classes de Susceptibilidade de acordo com RGC.....	56
Tabela 7: Classes de Susceptibilidade de acordo com Ic.....	57
Tabela 8: Classes de Susceptibilidade de acordo com Dd.....	58
Tabela 9: Classes de Susceptibilidade de acordo com Ir.....	59
Tabela 10: Valorização das Classes de Susceptibilidade dos Fatores Morfométricos.....	59
Tabela 11: Valorização das Classes de Susceptibilidade da Impermeabilização do Solo.....	60

Resumo

As inundações são fenômenos naturais que têm tido sua frequência, magnitude e consequências alteradas pelas modificações do uso e ocupação do solo, devido, principalmente, à ocupação de áreas marginais inundáveis (planícies fluviais) nas zonas urbanas. Belo Horizonte apresenta recorrentes problemas de inundação gerados por seu processo de ocupação desordenada e falta de eficientes políticas de planejamento urbano, os quais somam-se a um quadro físico distinto em sua região norte e sul – o norte mais suavizado e o sul com um relevo escarpado - o que gera diferentes susceptibilidades às inundações. Como reflexo desses problemas, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) (2009) mapeou as manchas de inundação do município, que se concentram no norte da Bacia do Ribeirão da Onça e nos afluentes de alto e médio curso do Ribeirão Arrudas. O objetivo geral deste trabalho é analisar a susceptibilidade a inundações nas bacias hidrográficas do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça, por meio da utilização de parâmetros morfométricos e de impermeabilização do solo. Para tanto, foi necessário: (a) espacializar as informações e gerar produtos visuais que auxiliem a compreensão das relações entre ocorrência de inundações com o quadro físico e de impermeabilização do solo das bacias e de suas áreas de contribuição; (b) cruzar os mapas morfométricos resultantes e o resultado desse cruzamento com o mapa de áreas permeáveis e impermeáveis das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e (c) comparar os resultados obtidos com o mapeamento das manchas de inundação de Belo Horizonte (PBH – 2009) avaliando a efetividade dos parâmetros morfométricos como indicadores úteis às análises de susceptibilidade a inundações em áreas urbanas. Os índices morfométricos utilizados para esta análise foram: relação entre gradientes de canal (R_{gc}), Índice de circularidade (I_c), Densidade de Drenagem (D_d) e Índice de Rugosidade (I_r). Esses índices foram separados em duas classes que representassem alta ou baixa susceptibilidade à inundação, sendo a divisão do R_{gc} e I_c baseada em parâmetros obtidos na literatura e da D_d e I_r no comportamento espacial das manchas em ambas as bacias. Os resultados indicaram boa associação dos mapas obtidos com a realidade das manchas de inundação de Belo Horizonte, ficando essa associação mais clara quando aos fatores morfométricos foi incluída a impermeabilização local. Desse modo, acredita-se que o controle das inundações urbanas não deve passar apenas pelo conhecimento do quadro físico, mas sim pelo planejamento e gerenciamento adequado do espaço urbano, resultante de políticas públicas que contemplem a relação entre prevenção, precaução e intervenção nas bacias hidrográficas. Em uma mancha urbana com dinamismo constante e pressões de crescimento, é preciso que medidas sejam tomadas para a regulação deste processo de expansão, privilegiando-se a implementação monitorada de ações que minimizem as consequências das inundações.

Palavras – Chave: Inundação, Bacia do Ribeirão Arrudas, Bacia do Ribeirão da Onça, Análise Multicritério, Belo Horizonte.

Abstract

Floods are natural phenomena that have had their frequency, magnitude and consequences altered by changes in the use and occupation of land, mainly due to the occupation of areas susceptible to flooding in urban areas. Belo Horizonte has recurring flood problems due to the process of urban sprawl and lack of efficient urban planning policies, which are in addition to a physical condition distinct in its northern and south – northern more softened and south with steep topography - what causes different susceptibility to flooding. Reflecting these problems, Belo Horizonte city hall (PBH-2009) mapped the flood spots in the city, which are concentrated in the north of Onça Stream Basin and in the upper and middle course affluents of Arrudas River Basin. The main purpose of this work is to analyze the susceptibility to flooding in Arrudas River and Onça Stream Basin through the use of morphometric parameters and soil sealing. Therefore, it was necessary to: (a) spatialize information and produce products that help visual understanding of the relationship between the occurrence of floods and the physical aspect and soil sealing basins and their areas of contribution, (b) cross the resulting morphometric maps and the result of this crossing with the map of permeable and impermeable areas of Arrudas River and Onça Stream Basin, and (c) compare the results of the mapped flood spots in Belo Horizonte (PBH - 2009) evaluating the effectiveness of morphometric parameters analysis as useful indicators for susceptibility to flooding in urban areas. The morphometric indices used for this analysis were: the Channel Gradient Relationship (CGR), the Circularity Index (Ci), the Drainage Density (Dd) and Roughness Index (Ri). These indexes were divided into two classes that represent high or low susceptibility to flooding, and the division of CGR and Ci were based on parameters obtained from literature and the division of Dd and Ri on the spatial distribution of the spots in both basins. The results indicated good association of the maps obtained with the reality of flood spots in Belo Horizonte, and this association was more evident when the soil sealing was included in the morphometric factors. Thus, it is believed that the control of urban flooding should not be only by the knowledge of the natural aspects, but by proper planning and management of urban space, through public policies that address the relationship between prevention, care and intervention in river basins. In an urban area with constant dynamism and growth pressures, it is necessary to take measures to regulation of this expansion process, privileging actions to minimize the consequences of floods.

Keywords: Flood, Arrudas River Basin, Onça Stream Basin, Multicriteria Analysis, Belo Horizonte.

INTRODUÇÃO

As inundações são fenômenos naturais que possuem como causas mais comuns eventos de pluviosidade intensa e de pouca duração ou períodos de chuvas contínuas. Todavia, apesar de naturais, as inundações têm tido sua frequência e magnitude alteradas pelas modificações do uso e ocupação do solo, bem como suas consequências têm sido mais impactantes em termos socioeconômicos, devido, principalmente, à ocupação de áreas marginais inundáveis (planícies fluviais) nas zonas urbanas.

A urbanização ao longo das planícies fluviais é um processo histórico, fruto das facilidades geradas para a implantação de atividades agrícolas e para a utilização dos cursos fluviais como meio de transporte. Como resultado, desde cerca de quatro mil anos a humanidade convive com os riscos associados à localização de suas atividades e moradias no entorno de corpos hídricos. Estes riscos, muitas vezes, se refletem em significativas perdas humanas e materiais em diferentes áreas do Globo. Somente no primeiro semestre de 2011 as inundações corresponderam a quase 50% do total de desastres naturais registrados no International Disaster Database (Figura 1).

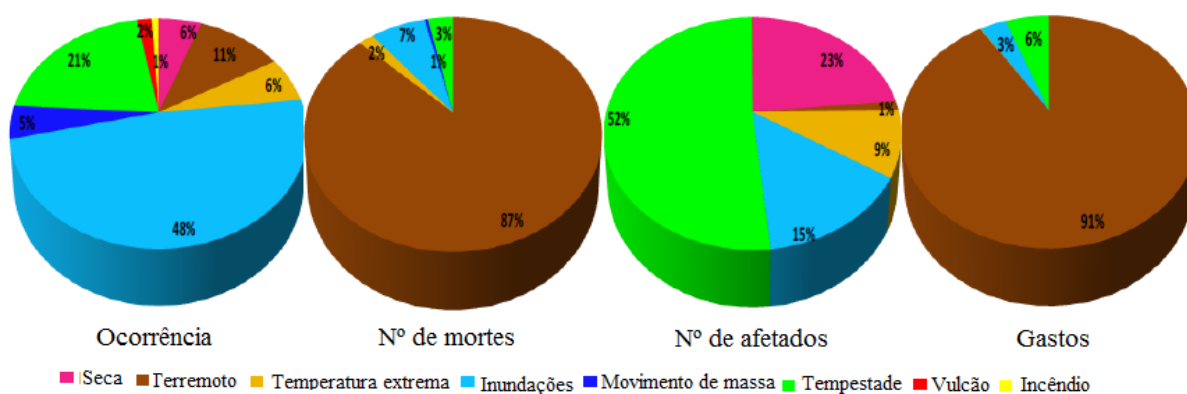


Figura 1: Ocorrência e impactos dos desastres naturais no primeiro semestre de 2011 segundo tipo de desastre.

Fonte: Adaptado de CRED CRUNCH issue nº25, september 2011. Acessado via <http://www.cred.be/sites/default/files/CredCrunch25.pdf> no dia 02/11/11.

A análise das 10 maiores enchentes ocorridas no mundo no período de 2002 a 2011 contabilizam um total de mortes superior a treze mil pessoas, sendo mais de seiscentos e setenta milhões o número total de pessoas que foram afetadas, direta ou indiretamente, por tais eventos (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao número de mortos.

País	Data	Nº Mortos
Haiti	mai/04	2665
Paquistão	jul/10	1985
China	mai/10	1691
Índia	jul/05	1200
Bangladesh	jul/07	1110
Índia	jul/07	1103
Índia	jun/08	1063
Índia	jul/09	992
Índia	jun/04	900
Brasil	jan/11	806

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium, acessado em 02/11/2011.

Tabela 2: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao número de pessoas afetadas.

País	Data	Nº de pessoas afetadas
China	jun/03	150.146.000
China	mai/10	134.000.000
China	jun/07	105.004.000
China	jun/02	80.035.257
Índia	jun/02	42.000.000
China	jul/09	39.372.000
Bangladesh	jun/04	36.000.000
China	jul/04	33.652.026
Índia	jun/04	33.000.000
China	set/11	21.560.000

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium, acessado em 02/11/2011.

O gasto dos países com as consequências das enchentes alcançam cifras exorbitantes. Nos dez últimos anos as enchentes com maiores custos econômicos somaram aproximadamente oitocentos milhões de dólares (Tabela 3), tornando urgente a criação de políticas e programas de prevenção e minimização das inundações em todo o mundo.

Tabela 3: As dez enchentes mais importantes no período de 2002 a 2011 em relação ao gasto econômico.

País	Data	Custo em dólares
China	mai/10	18.000.000
Alemanha	ago/02	11.600.000
Estados Unidos	jun/08	10.000.000
Paquistão	jul/10	9.500.000
China	jun/03	7.890.000
Austrália	dez/10	5.130.000
China	jul/03	4.830.000
China	jun/07	4.425.655
China	set/11	4.080.000
Reino Unido	jun/07	4.000.000

Fonte: EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database www.em-dat.net - Université Catholique de Louvain - Brussels – Belgium, acessado em 02/11/2011.

No Brasil, esse cenário não se difere muito. No período de 2010-2011, por exemplo, foram registradas 37 ocorrências de inundações com um número mínimo de 10 mortes, totalizando 1280 mortes e mais de 4,5 milhões de atingidos (CRED, D.Guha-Sapir, Geneva, January 2011).

É importante salientar que a frequência e intensidade das inundações é resultado não somente das características físicas de uma bacia hidrográfica, mas também fruto das alterações antrópicas locais que gerem mudanças no balanço entre as taxas de infiltração e as taxas de escoamento superficial. E em termos de riscos à vida e às atividades humanas, as inundações são potencialmente mais impactantes nas áreas urbanas, onde ocorre uma profunda alteração na capacidade de infiltração do solo, devido à impermeabilização de extensas áreas e ao número de atividades e residências localizadas nas margens fluviais. Desse modo, a ausência ou ineficiência dos processos de planejamento urbano reflete-se sobre o processo de inundações de uma cidade.

Belo Horizonte, capital de Minas Gerais (Figura 2), insere-se nesse contexto de grandes impactos gerados por recorrentes inundações. O município é dividido em duas bacias: a bacia do Ribeirão da Onça no centro-norte e a bacia do Ribeirão Arrudas no centro-sul da cidade (Figura 3).

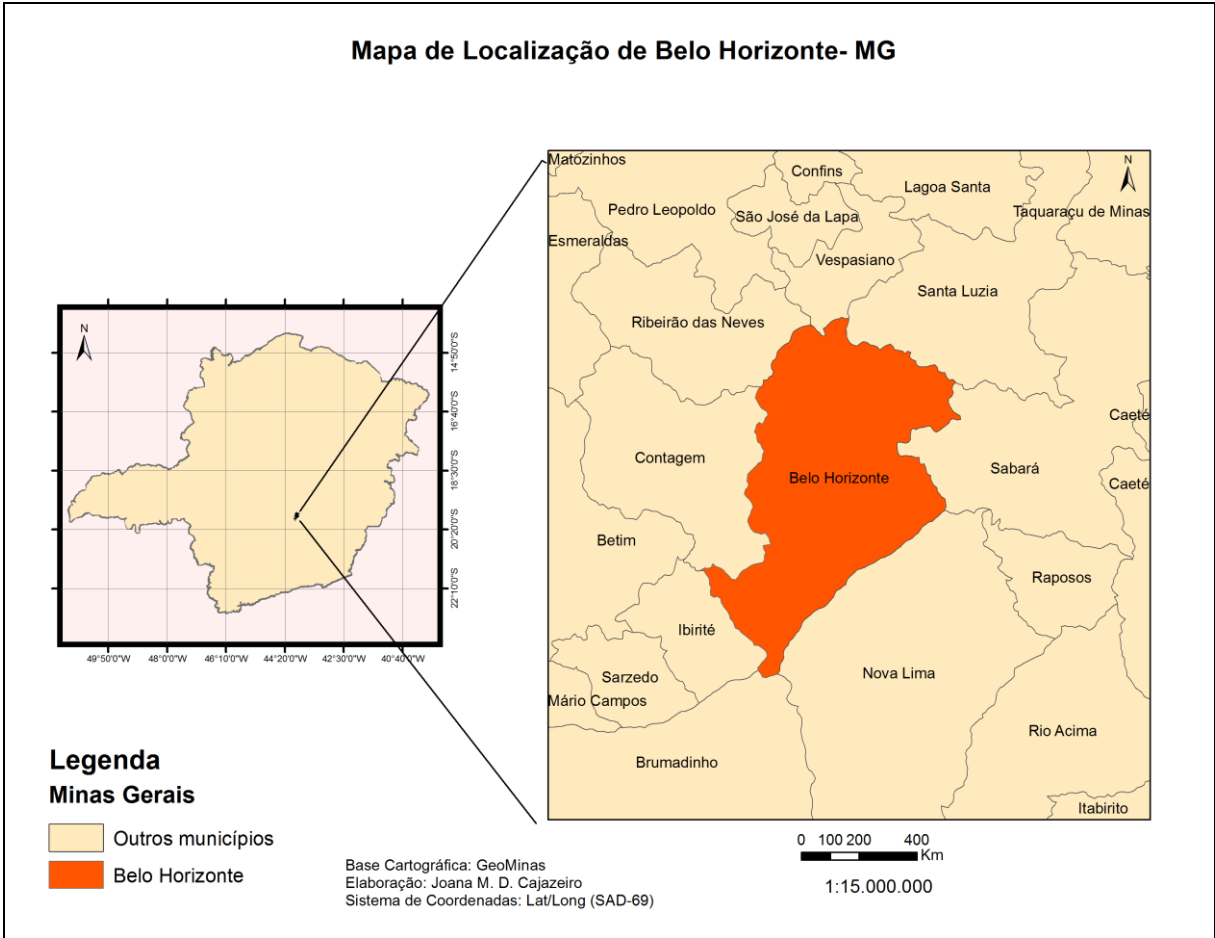


Figura 2: Mapa de Localização de Belo Horizonte-MG

Fonte: GeoMinas (sem data)

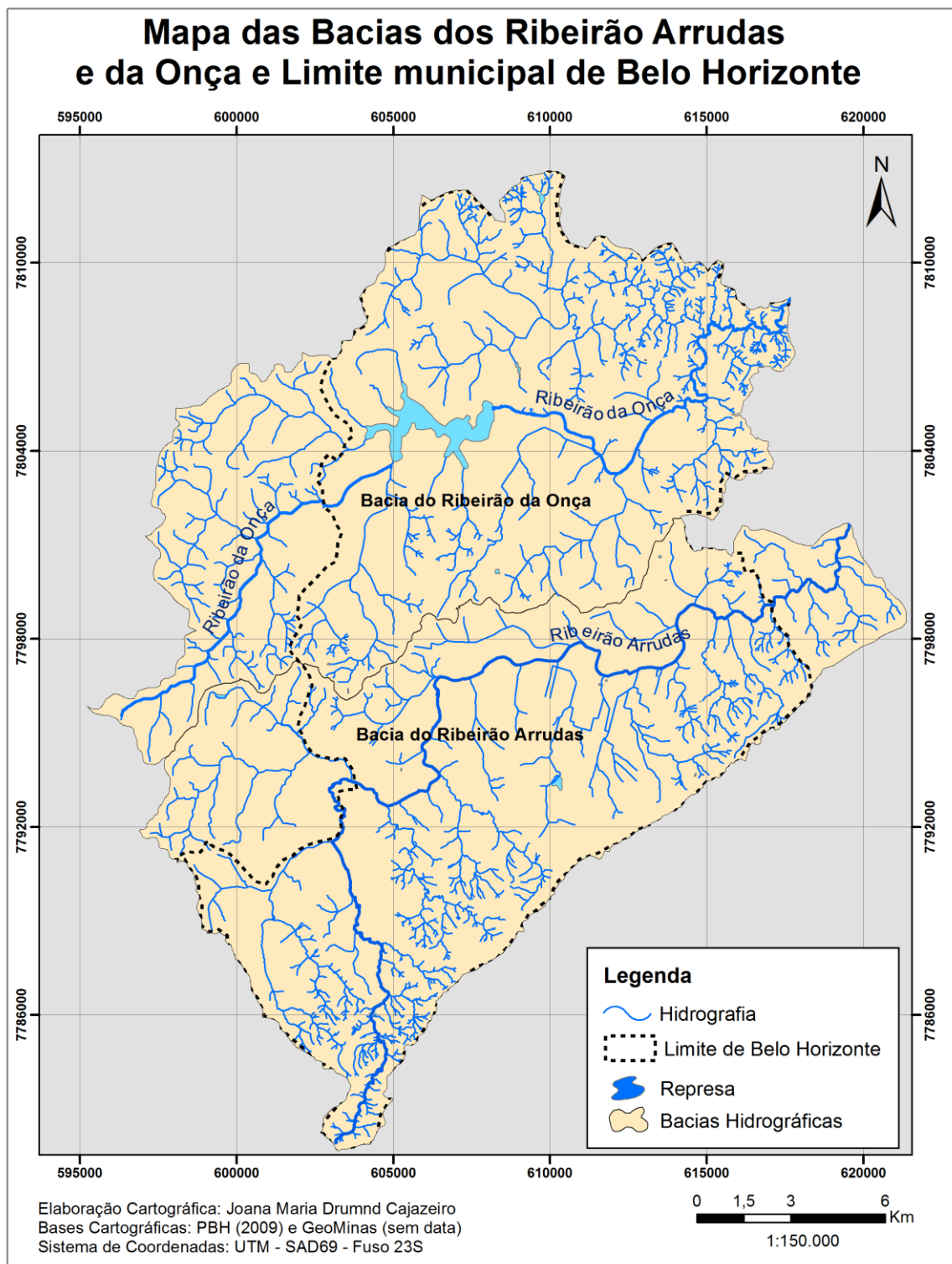


Figura 3: Mapa das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e Limite Municipal de Belo Horizonte
Fonte: SUDECAP E SMURBE – PBH (2009) e GeoMinas (sem data)

O município de Belo Horizonte, assim como outros no País, passou por uma rápida ocupação sem que houvesse planejamento prévio que objetivasse a minimização dos impactos da ocupação no ciclo hidrológico. A Figura 4 ilustra a evolução da ocupação

municipal de 1918 a 2007, demonstrando a rápida expansão urbana que atualmente influencia na formação de inundações locais.

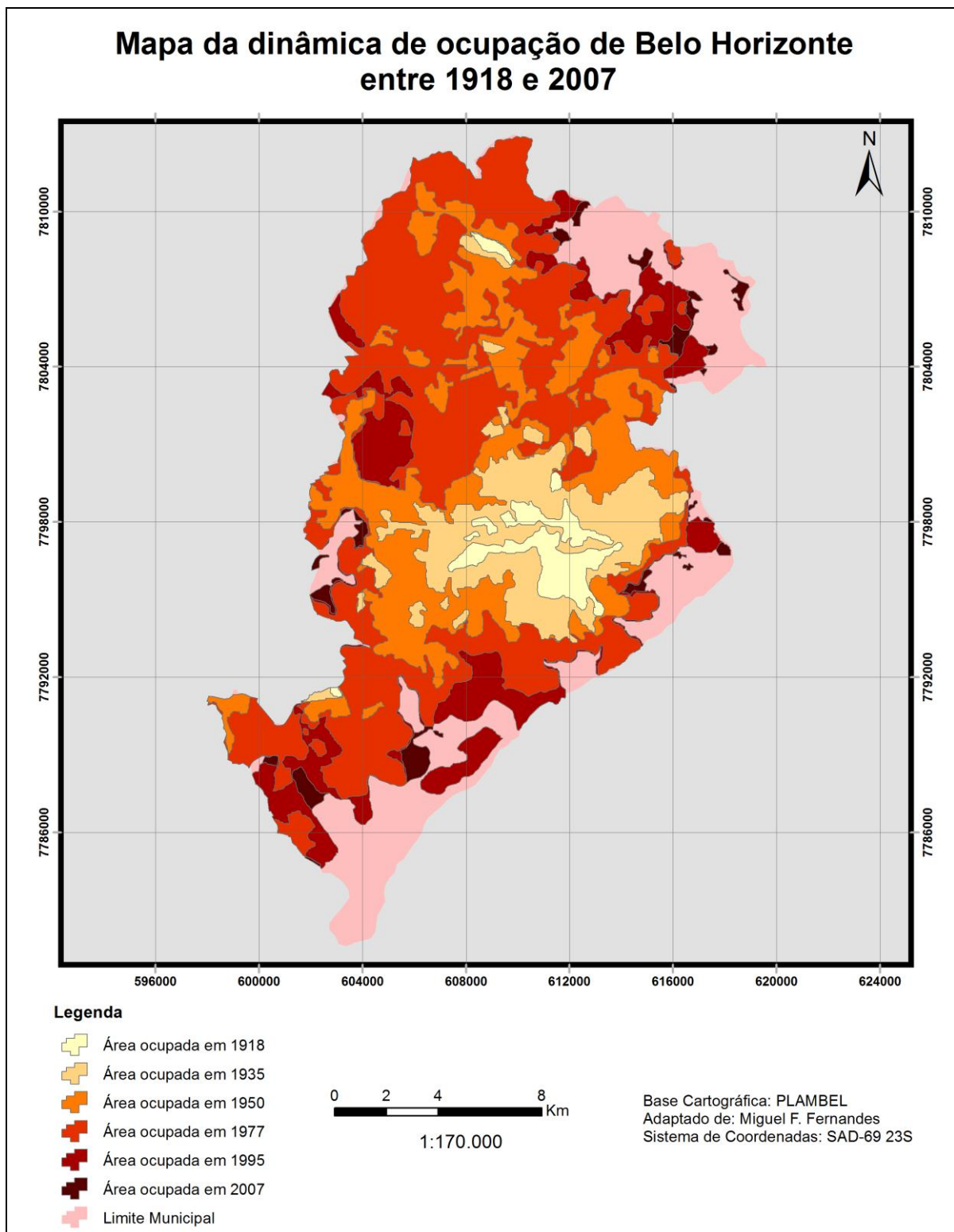


Figura 4: Mapa da dinâmica de ocupação de Belo Horizonte entre 1918 e 2007

Fonte: Adaptado de FERNANDES (2007)

Como se pode perceber pelo mapa, houve uma rápida expansão urbana em Belo Horizonte a partir de 1950 até 1977, quando quase a totalidade do município já estava ocupada. Após esse período, até 2007, a área ocupada não mudou significativamente, crescendo a verticalização da cidade para comportar o aumento populacional.

Além da dimensão urbana complicada, Belo Horizonte conta com um quadro físico distinto em sua região norte e sul – o norte caracterizado pela presença de relevo mais suavizado em contraste com o sul, que possui um relevo escarpado, principalmente na região da Serra do Curral - que geram diferentes susceptibilidades naturais às inundações.

A esses aspectos de uso e ocupação do solo e de condicionantes físicos locais somam-se a falta de eficientes políticas de planejamento urbano, que se refletem atualmente na presença de inúmeros locais susceptíveis a inundações, gerando riscos à vida e às atividades humanas na cidade. Tais locais foram mapeados pela Prefeitura de Belo Horizonte (2009), conforme pode ser visto na Figura 5, que indica que esse fenômeno ocorre ao longo de todo o município. No norte da Bacia do Ribeirão da Onça ocorre grande acúmulo de manchas de inundação e na Bacia do Ribeirão Arrudas há concentração dessas principalmente nos afluentes de alto e médio curso do Ribeirão Arrudas.

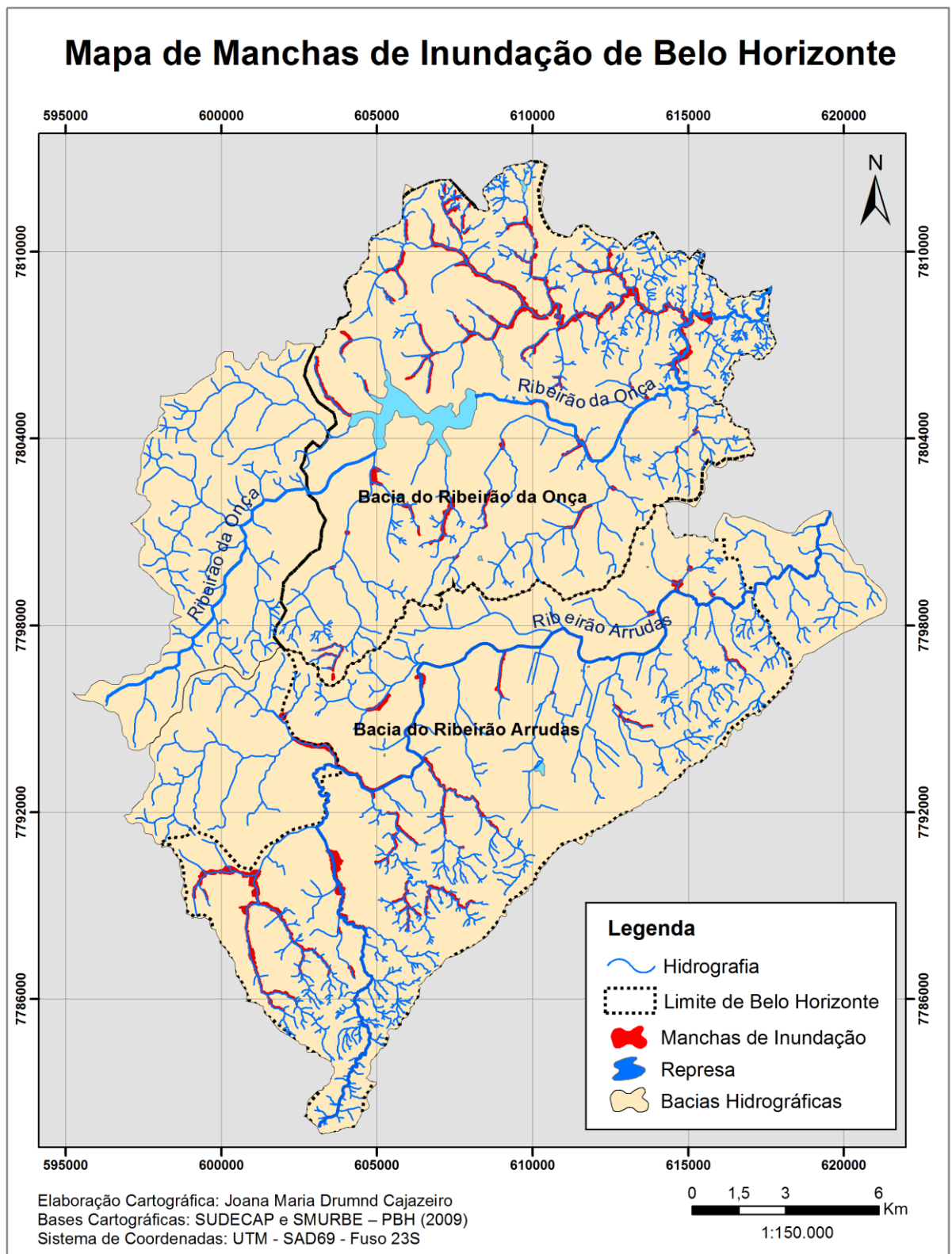


Figura 5: Mapa de manchas de inundação de Belo Horizonte.
Fonte: SUDECAP E SMURBE – PBH (2009)

O período crítico de formação de inundações na capital mineira ocorre entre novembro e março, correspondente à sua estação chuvosa. A Tabela 4 enumera alguns eventos de alagamento/inundação com danos materiais e/ou humanos, que ocorreram em Belo Horizonte durante o período chuvoso 2008/2009, retirados do trabalho de REIS (2011) e atualizados através das mesmas fontes para o período chuvoso até 2010.

Tabela 4: Relação de eventos de caráter hidrológico no município de Belo Horizonte no período de 2008/2010.

Data	Evento
15/12/2008	Alagamento da Cristiano Machado
	Inundação do Ribeirão da Onça
	Alagamento nas Regionais Norte, Pampulha e Noroeste
	Inundação do Ribeirão Arrudas
18/12/2008	Alagamento por transbordamento do Córrego Mergulhão
31/12/2008	Inundação do Ribeirão Arrudas
20/01/2009	Alagamento no Anel Rodoviário próximo a Avenida Carlos Luz e Aeroporto Carlos Prates
	Alagamento da Avenida Amazonas
22/01/2009	Inundação do Ribeirão Arrudas e Alagamento da Avenida Tereza Cristina
	Alagamento na Regional Barreiro
	Alagamento da Avenida Olinto Meireles - Regional Barreiro
	Alagamento no Bairro Tirol e Betânia
16/03/2009	Alagamento no Bairro Prado
	Inundação do Ribeirão Arrudas
03/03/2010	Inundação do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça, além de alagamentos generalizados.

06/12/2010	Inundação do Ribeirão Arrudas
15/01/2010	Alagamentos nas Ruas Silva Lobo, João Caetano, João Paulo II, Avenidas Amazonas e Barão Homem de Melo
23/11/2010	Inundação do Ribeirão Arrudas e do Córrego da Onça
26/11/2010	Inundação do Ribeirão Arrudas e do Córrego da Onça

Fonte: REIS (2011), atualizado por Jornal Estado de Minas (<http://www.uai.com.br>, acessado em 12/04/2011) e Jornal Alterosa (<http://www.alterosa.com.br>, acessado em 12/04/2011).

Devido aos constantes problemas com inundações, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH) possui programas específicos para minimizar os eventos e os danos causados por estes fenômenos. Na cidade foram e estão sendo realizadas ações de prevenção, combate e monitoramento de inundações. O monitoramento visa implantar sistemas de alertas de inundações com base em informações obtidas através do acompanhamento dos eventos de chuvas e dos níveis de água dos córregos. Para isso, Belo Horizonte conta com 27 estações fluviométricas, 11 pluviométricas e 4 climatológicas distribuídas nas regiões de maior risco. (site SEMAD, 2011: <http://www.semad.mg.gov.br/noticias/1/809-sistema-de-alerta-de-enchentes-e-discutido-na-bacia-do-rio-das-velhas>)

As ações de prevenção contam com a instalação de mil placas de alerta para instruir motoristas e a população a evitar as áreas críticas quando houver chuva intensa. Foram criados os Núcleos de Alerta de Chuvas (NAC), que contam com a participação de voluntários capacitados que residem ou trabalham em áreas de risco e que, frente à possibilidade de ocorrência de inundações, atuam como agentes de alerta para a população (Figura 6). (Site BH metas e resultados: <http://www.bhmetasresultados.com.br/veja-mais/Cidade%20Sustentavel>)

Além disso, existe todo um aparato institucional envolvido na questão das inundações em Belo Horizonte: a URBEL (Companhia Urbanizadora de Belo Horizonte) faz as vistorias das áreas de risco de inundação (além de outras áreas de risco), campanhas de conscientização junto às populações de risco e, se necessário, remoção da população do local; o DRENURBS promove programas voltados para a redução de risco de inundação, além de outros programas voltados aos recursos hídricos. Além disso, a SMURBE (Secretaria

Municipal de Políticas Urbanas) e a SUDECAP (Superintendência de Desenvolvimento da Capital) realizaram um mapeamento das manchas de inundação de Belo Horizonte, incluindo neste mapeamento a distinção dos canais fluviais em canalizados abertos, canalizados fechados, em seção tubular, leito natural e não cadastrado. **(Site PBH: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/>)**

Belo Horizonte, por seu destaque nas áreas de planejamento e gestão de águas urbanas, foi escolhida, no ano de 2005, para ser umas das 12 cidades participantes do Projeto Switch (Sustainable Water Management Improves Tomorrow's Cities' Health"), liderado pelo instituto IHE – Institute for Water Education, da UNESCO, sediado em Delft, na Holanda. Esse projeto foi composto por 32 instituições de 15 países, da qual fizeram parte a Prefeitura de Belo Horizonte e a UFMG. O Switch, iniciado no primeiro semestre de 2006 e finalizado em março de 2011, objetivou o estudo e desenvolvimento de tecnologias de manejo de águas pluviais para minimizar ou prevenir o acontecimento de desastres como inundações e enchentes, bem como para o reaproveitamento das águas de chuvas para outras atividades. Alguns de seus experimentos foram o Coletor de Águas Pluviais, voltado ao uso de águas pluviais para limpeza e jardinagem, e a Trincheira de Infiltração, visando à infiltração da água pluvial em contexto urbano e remoção de poluentes. **(Site PBH: http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?evento=portlet&pIdPlc=ecpTaxonomiaMenuPortal&app=SUDECAP&tax=17761&lang=pt_BR&pg=5581&taxp=0&)**

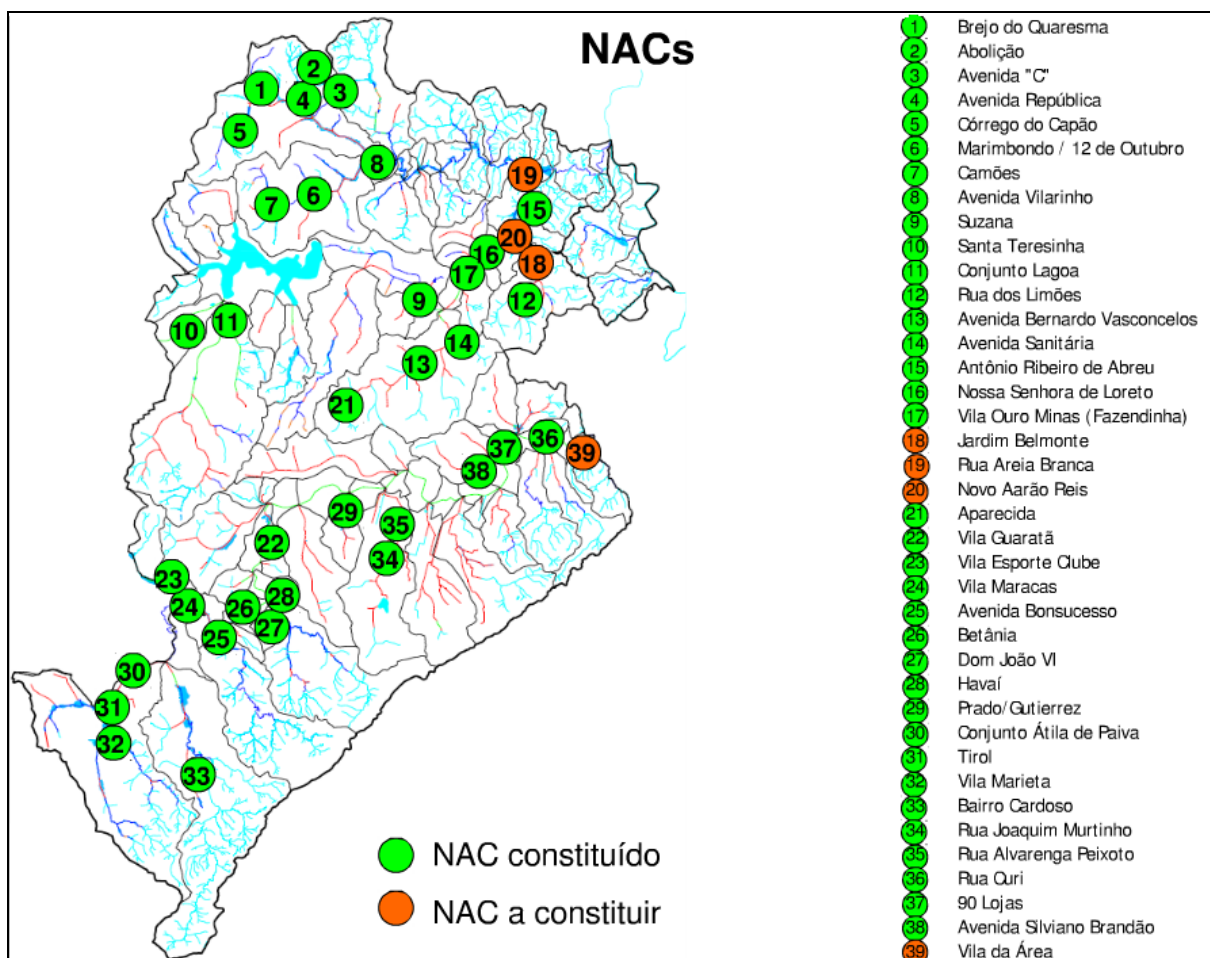


Figura 6: Núcleos de Alerta de Chuvas.

Fonte: Plano de Ações de Combate às Inundações em Belo Horizonte, PBH, setembro/2011.

Tendo em vista a mobilização de esforços no sentido de minimização dos problemas com as inundações no município, este estudo visa contribuir para o entendimento de fatores que influenciam na formação desses processos na capital mineira. Para isso, esta pesquisa se baseou na análise das áreas impermeabilizadas e na investigação de condicionantes morfométricos que influenciam na geração de inundações nas duas bacias hidrográficas de Belo Horizonte: a bacia do Ribeirão da Onça e a bacia do Ribeirão Arrudas. Ambas possuem aproximadamente a mesma dimensão, cerca de 210 Km², sendo que a primeira representa 47,54% e a segunda 52,46% deste município. Cabe salientar que este estudo não se restringe ao limite municipal dessa cidade, pois engloba completamente as duas bacias, que se estendem por municípios vizinhos.

Espera-se, desse modo, contribuir para os processos de gestão e planejamento urbano da capital de Minas Gerais, que se reflitam na minimização dos riscos e impactos das inundações, evitando-se as perdas humanas e reduzindo-se os danos materiais. Esta pesquisa, portanto, se baseia na premissa que o poder público pode empreender sistemas de gestão calcados em processos decisórios que compreendam análises mais minuciosas sobre o comportamento hidrológico nas cidades, permitindo, então, intervenções não somente de caráter local e emergencial, mas também em diferentes escalas espaço-temporais, com destaque para a dinâmica das bacias hidrográficas em curto, médio e longo prazos.

1. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é analisar a susceptibilidade a inundações nas bacias hidrográficas do Ribeirão Arrudas e Córrego da Onça, por meio da utilização de parâmetros morfométricos e de impermeabilização do solo.

2.2. Objetivos Específicos

- Espacializar as informações e gerar produtos visuais que auxiliem a compreensão das relações entre ocorrência de inundações com o quadro físico e de impermeabilização do solo das bacias e de suas áreas de contribuição;
- Cruzar os mapas morfométricos resultantes e o resultado desse cruzamento com o mapa de áreas permeáveis e impermeáveis das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça;
- Comparar os resultados obtidos com o mapeamento das manchas de inundação de Belo Horizonte, gerado pela Prefeitura de Belo Horizonte, avaliando a efetividade dos parâmetros morfométricos como indicadores úteis às análises de susceptibilidade a inundações em áreas urbanas.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. O fenômeno das Inundações

Os rios possuem uma configuração natural que reflete o comportamento variável de suas águas frente às oscilações de vazão. Os cursos fluviais possuem um nível de escoamento de suas águas nos períodos de estiagem que se restringe ao leito vazante. O leito maior, por sua vez, recebe sazonalmente águas fluviais de transbordamento durante as inundações e se caracteriza por ser uma área que comumente possui ocupações antrópicas, o que pode gerar transtornos socioeconômicos e riscos à vida humana.

O leito maior pode ser total ou parcialmente inundado durante os períodos de chuva, e as inundações podem abranger diferentes áreas marginais ao longo do tempo em função da intensidade das precipitações.

Carvalho *et al.* (2007) definem as inundações como o processo de extravasamento das águas do corpo hídrico para suas áreas marginais: as planície de inundação - leito maior – conforme pode ser visto na Figura 7. De acordo com Carvalho *et al* (2007) as inundações são fenômenos de natureza hidrometeorológica, decorrentes de chuvas de grande intensidade ou de longa duração, além de outras causas que são incomuns no Brasil.



Figura 7: Perfil esquemático do processo de enchente e inundação

Fonte: Min. Cidades/IPT (2007)

As inundações são fenômenos naturais e, de acordo com Amaral e Ribeiro (2009), têm sua magnitude e frequência regulados pelas características de quantidade, intensidade e

distribuição da precipitação, pelas características de infiltração da água no solo e pelo seu grau de saturação, além de características morfométricas da bacia hidrográfica. No entanto, essas características podem (e são) alteradas pelo homem. (Carvalho *et al.*, 2007).

Em áreas urbanas, existem amplas modificações antrópicas que influenciam no processo de formação de inundações. A construção de estradas, edifícios e casas freqüentemente remove a cobertura vegetal e parte do solo e modifica a morfologia natural das cidades, resultando no aumento da proporção de superfícies impermeáveis. A redução da capacidade de absorção e infiltração de água no solo é acompanhada pelo aumento do escoamento superficial e de sua velocidade. (Konrad, 2003)

A crescente impermeabilização dos solos gera alterações no balanço entre infiltração e escoamento, aumentando o fluxo de água superficial que se direciona aos rios. Esse fenômeno pode ser percebido na ilustração da Figura 8, em que as taxas de evapotranspiração, infiltração superficial e profunda diminuem com o aumento do processo de urbanização. Em contrapartida, há um significativo aumento do escoamento superficial, o que gera maior propensão a inundações, visto que o escoamento superficial contribui para o rápido aumento da vazão fluvial em eventos de chuva.

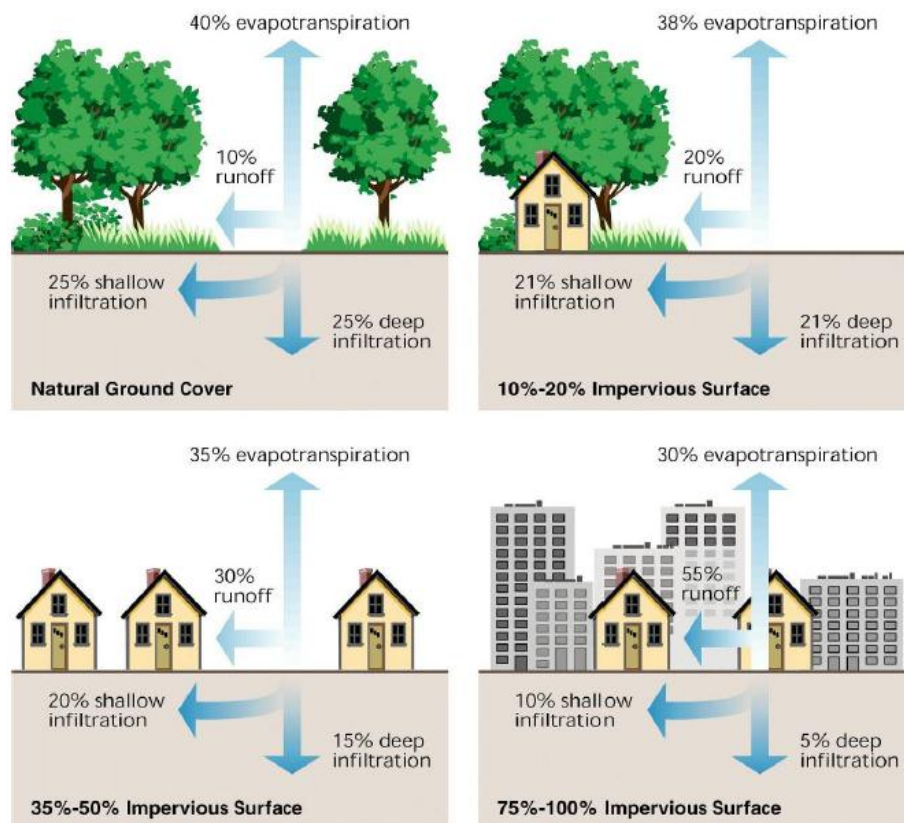


Figura 8: A influência da urbanização em diferentes etapas do ciclo da água.

Fonte: Urban Flood Risk Management – A tool for integrated Flood Management. Associated Programme on Flood Management – World Meteorological Organization, march 2008.

Os sistemas de drenagem pluvial das cidades são considerados por Ashley (2003) um dos principais pontos de estrangulamento no manejo de enchentes urbanas, uma vez que são subdimensionados e ainda sofrem com problemas de deterioração de sua capacidade devido ao acúmulo de lixo. O asfaltamento gera áreas preferenciais sem presença de obstáculos para o escoamento, resultando em um direcionamento de maior volume de água e com maior velocidade para os corpos hídricos. Outro problema refere-se ao despejo de esgotos e águas servidas, o que aumenta o volume basal dos cursos fluviais.

Além de todas essas questões, também existem as próprias alterações na calha fluvial, seja por assoreamento, gerado por direcionamento excessivo de material erodido de lotes vagos ou por disposição inadequada de lixo nesses locais, seja por obras de engenharia que canalizam e retificam os rios, transmitindo o problema das inundações para jusante. Pode-se ainda expor as alterações climáticas locais em áreas urbanas, que podem alterar os regimes pluviais.

A magnitude de uma inundação e o risco para a população atingida são influenciados por fatores naturais e antrópicos. O aumento na vulnerabilidade das cidades às inundações deve-se principalmente, à artificialização contínua dos ecossistemas, à crescente migração urbana, à falta de planejamento na ocupação das cidades e as práticas de construções não sustentáveis, segundo Gladwell e Sim (1993).

Todavia, o problema dos impactos socioambientais das inundações não é recente na história da humanidade. Diversas civilizações surgiram e se desenvolveram preferencialmente às margens dos rios aproveitando-se das vantagens topográficas das planícies, da facilidade de transporte (navegação) e dos atrativos às atividades agrícolas que as formações sedimentares fluviais proporcionam. (Cristo, 2002).

As inundações, por serem fenômenos naturais comuns em grande parte dos cursos d'água, indicam que as áreas marginais de corpos hídricos não deveriam ser ocupadas de modo irregular e sem um planejamento adequado, mas sim preservadas conforme exposto na Lei N.º 9.985 de 18/07/00. O Código Florestal, Lei N.º 4.771 de 15/09/65, e a Resolução CONAMA N.º 303 de 20/03/02 foram criadas com o intuito de regulamentar a preservação dessas áreas, através da criação de Áreas de Proteção Permanente (APP) ao longo de cursos d'água. Essas APPs foram estabelecidas desde o nível mais alto dos cursos d'água, em faixa marginal com largura mínima de 30 metros para cursos d'água com menos de 10 metros de largura, de 50 metros para cursos entre 10 e 50 metros de largura, de 100 metros para cursos d'água entre 50 e 200 metros de largura, de 200 metros para cursos entre 200 e 600 metros de largura e de 500 metros para cursos d'água com mais de 600 metros de largura.

Apesar de existirem técnicas para contenção de inundações ou para minimização de seus danos, é muito mais coerente adotar-se o princípio da precaução e da prevenção, evitando-se a ocupação desordenada e permitindo a continuidade do fenômeno das inundações sem riscos à vida e às atividades humanas. Deste modo, pode-se planejar uma convivência mais harmoniosa da sociedade com as inundações, visto que elas não são fenômenos regulares em sua frequência ou magnitude. Assim, para implantar soluções mais eficientes, é necessário um conhecimento cada vez mais aprofundado das características físicas das bacias hidrográficas e das alterações de seus comportamentos naturais pelas modificações do uso e ocupação do solo.

3.2. Alagamentos e Enxurradas

A literatura caracteriza, além de enchentes e inundações, os alagamentos e enxurradas. No entanto, o mapeamento da prefeitura não diferenciou o tipo de processo, classificando todas as manchas como referentes a inundações. Apesar de provavelmente nem todas elas corresponderem a esse processo, podendo ser também de formação de enxurradas ou alagamentos, tal nomenclatura foi mantida pela ausência de dados suficientes para embasar nova classificação.

A definição de alagamentos refere-se ao acúmulo momentâneo de águas em um determinado local, decorrente de problemas de drenagem pluvial, os quais podem ou não ter relação com processos de natureza fluvial (Min. Cidades/IPT, 2007).

Os alagamentos, portanto, são relacionados a áreas com drenagem deficiente, que não permitem dar vazão de forma suficiente para as águas pluviais, as quais passam a se acumular. Assim, esse processo relaciona-se mais à morfologia e ao sistema de drenagem local do que às características locais de precipitação – apesar de também se relacionar a essas. (Alves e Castro, 2003)

Portanto, os alagamentos são agravados pelo mau planejamento e manutenção do sistema de drenagem pluvial urbana, pelos lixos jogados inadequadamente nesses locais e pelos processos de impermeabilização, que dificultam a infiltração pluvial.

O processo de formação de enxurradas, por sua vez, ocorre por meio da concentração do fluxo gerado por chuvas intensas em áreas de grande declividade. Assim, configura-se rápida elevação dos caudais, que adquirem grandes velocidades e intensidades. Desse modo, as enxurradas são definidas como o escoamento superficial concentrado com alta energia de carreamento, não necessariamente associados a processos fluviais, apesar de serem comuns em vias sobre cursos d'água e que possuam características hidromorfológicas favoráveis. (Amaral e Ribeiro, 2009)

Pruski *et al.* (2003) ressaltam que os fatores que alteram a taxa de infiltração da água no solo também interferem no escoamento superficial resultante. Com isso, há tendência de elevação do escoamento superficial com o aumento da intensidade, da duração e da área que recebe as precipitações.

Assim sendo, o processo de urbanização influencia o processo de formação de escoamento superficial, tendendo a aumentá-lo pela impermeabilização excessiva associada ao manejo inadequado das águas pluviais. (Bertoni, 1998; Belinaso, 2002 *apud* Silveira, 2007).

Outro aspecto das enxurradas refere-se a seu poder destrutivo. Pruski *et al.* (2003) afirmam que bacias com maiores áreas de recepção de águas pluviais e de altas declividades tendem a gerar mais elevadas vazões máximas de escoamento superficial no exultório. Além disso, as águas provenientes de locais acidentados adquirem elevadas velocidades, adquirindo maior poder de carrear materiais, acentuando, assim, seu poder destrutivo. (Santos, 2007).

Esses materiais carreados constituem-se em importante problema urbano, pois podem entupir ou prejudicar a eficiência de bueiros e galerias pluviais, agravando, desse modo, a formação das enchentes, inundações e alagamentos, devido ao aumento do escoamento superficial.

3.3. Morfometria de bacias hidrográficas

Análises morfométricas de bacias hidrográficas permitem a leitura dos atributos do seu modelado superficial em termos quantitativos (CHRISTOFOLETTI, 1999). Horton (1945) foi um dos primeiros autores a empreender estudos morfométricos sistemáticos com o intuito de entender a configuração e evolução de bacias e suas redes de drenagem. (CHEREM, 2008).

Na primeira metade do século XX a morfometria era baseada em técnicas de cálculo manuais aplicadas em cartas topográficas. Atualmente as técnicas evoluíram muito e os parâmetros morfométricos podem ser quantificados por sistemas de informação geográfica (SIG), via técnicas de geoprocessamento. (CHEREM, 2008)

Diversos trabalhos ilustram a aplicabilidade da morfometria de bacias nos estudos geomorfológicos e hidrológicos. REIS (2011) explorou em seu trabalho a análise de susceptibilidade à formação de enxurradas na subbacia do Córrego do Leitão, pertencente à bacia do Ribeirão Arrudas - Belo Horizonte, as quais contribuem para a ocorrência de inundações. Fonseca (2010) realizou análises morfométricas e morfológicas em duas bacias

hidrográficas localizadas na Serra do Espinhaço Meridional: a bacia do Rio Pardo Grande e a bacia do alto Rio Jequitinhonha, visando comprovar a morfodinâmica diferenciada de ambas. Castro e Carvalho (2009) apresentaram alguns índices morfométricos da bacia hidrográfica do Rio Turvo, localizada na região centro-sul de Goiás, visando compreender a disposição da drenagem e gerar conhecimento com aplicação direta para o planejamento territorial.

Cherem (2008) adotou técnicas de geoprocessamento e geoestatística para realizar a compartimentação morfométrica da bacia do alto Rio das Velhas em regiões homogêneas e avaliar a consistência morfológica e hidrológica dos MDEs-SRTM original e interpolado (krigado) da área. Feltran Filho e Lima (2007) também realizaram compartimentação morfométrica na bacia do Rio Uberabinha, Minas Gerais, em quatro regiões homogêneas, dividindo-as em características distintas e visualmente interpretáveis.

As análises morfométricas de bacias hidrográficas podem ser divididas em lineares, zonais ou hipsométricas, de acordo com os tipos de dados necessários para geração dos parâmetros e, portanto, de acordo com as possíveis respostas que os parâmetros podem oferecer.

Os parâmetros lineares associam-se à rede de drenagem e ao seu arranjo espacial dentro da bacia, sendo comumente apresentados em Km. Os parâmetros zonais relacionam-se à rede de drenagem e a seu arranjo espacial na bacia e são, na maior parte das vezes, representados em relação à área da bacia. Os parâmetros hipsométricos representam a tridimensionalidade da bacia ao incluir a variação altimétrica em suas medidas. (CHRISTOFOLETTI, 1980)

Dentre os inúmeros parâmetros morfométricos existentes na literatura, foram selecionados aqueles possíveis de serem calculados com os dados disponíveis para a realização deste trabalho e que possuíssem aplicabilidade aos objetivos desta pesquisa.

3.3.1 Classe Linear

Os parâmetros lineares quantificam características da rede de drenagem por meio da mensuração dos atributos de comprimento dos canais, número de canais, hierarquia fluvial e da relação entre eles. Dentre os parâmetros lineares, será analisado o seguinte:

3.3.1.1. Relação entre os gradientes dos canais (R_{gc})

Este parâmetro relaciona a declividade média dos canais de cada ordem com a declividade média dos canais de ordem imediatamente superior, verificando o grau de normalidade de uma bacia de acordo com a terceira lei de Horton (1945)¹.

A equação utilizada é dada por:

$$R_{gc} = \frac{G_{cw}}{G_{cw+1}}$$

(1)

onde: G_{cw} é a declividade média dos canais de determinada ordem; $G_{cw + 1}$ é a declividade média dos canais de ordem imediatamente superior.

Valores de R_{gc} maiores que 1 indicam que a declividade média dos canais analisados é maior que a dos canais à jusante, de ordem imediatamente superior. Desse modo, esses valores indicam uma maior susceptibilidade à formação de inundações, pois os rios à montante possuem maior transmissibilidade hidráulica que os à jusante, tendendo a água se acumular nestes últimos. Em contrapartida, valores de R_{gc} menores do que 1 indicam que a declividade média dos canais analisados é menor que a dos canais à jusante. Sendo assim, a susceptibilidade a inundações seria minimizada, pois os rios à jusante possuem maior transmissibilidade hidráulica que os de montante.

3.3.2 Classe Zonal

Os parâmetros zonais são relativos a medidas da rede de drenagem em relação a medidas de área da bacia hidrográfica, ou de valores da bacia em termos de valores ideais. Os parâmetros que serão estudados da classe zonal são:

¹ Lei da declividade de canais: em uma determinada bacia, há uma relação geometricamente inversa definida entre a declividade média dos canais de certa ordem e a dos canais de ordem imediatamente superior, na qual o primeiro termo é a declividade média dos canais de primeira ordem e a razão é a relação entre os gradientes dos canais.

3.3.2.1 Índice de Circularidade (Ic)

O índice de circularidade foi proposto por Miller em 1953 e relaciona a área da bacia hidrográfica a um valor ideal (área de um círculo). (CHRISTOFOLETTI, 1980).

A equação utilizada é dada por:

$$Ic = \frac{A}{A_c}$$

(2)

onde: A é a área da bacia ou da área de contribuição; A_c é a área de um círculo que tenha o perímetro idêntico ao da bacia ou da área de contribuição considerada, sendo o valor máximo considerado igual a 1,0.

A forma da bacia influencia no tempo de concentração das águas, ou seja, o tempo necessário, a partir do início da precipitação, para que a água saia dos limites da bacia e chegue em seu exultório (Villela *et al.*, 1936).

De acordo com Alves e Castro (2003) as bacias mais alongadas, com índices inferiores a 0,51, favorecem o escoamento, tendo, portanto, baixa susceptibilidade à formação de inundações. Do contrário, bacias mais circulares, com índices superiores a 0,51, favoreceriam a formação de inundações. (Cherem, 2008)

3.3.2.2 Densidade de drenagem (Dd)

Esse parâmetro relaciona o comprimento total dos canais de drenagem em uma determinada área de contribuição.

$$Dd = \frac{L_t}{A}$$

(3)

onde: L_t é o comprimento total de todos os rios da bacia ou área de contribuição em análise; e A é a área da bacia ou da área de contribuição.

Este índice indica o comportamento hidrológico local quando comparadas bacias hidrográficas em um mesmo ambiente climático. Assim sendo, quanto maior a densidade de drenagem, maior o comprimento dos rios, indicando uma menor infiltração de água nos solos e (ou) rochas locais. (Christofolletti, 1970)

3.3.3 Classe Hipsométrica

Os parâmetros hipsométricos correlacionam a amplitude altimétrica à área e à rede de drenagem de uma bacia. O índice utilizado será:

3.3.3.1 Índice de Rugosidade (I_r)

O índice de rugosidade representa aspectos da declividade e comprimento das vertentes por meio da relação entre amplitude altimétrica e densidade de drenagem Strahler (1958). Bacias hidrográficas com I_r elevado têm maior potencial para ocorrência de cheias, visto que são bacias de alta energia (dada à elevada amplitude altimétrica) e/ou são bacias com alta transmissibilidade hidráulica, já que todos os pontos da bacia estão mais próximos da rede de drenagem, convertendo o fluxo de vertente em fluxo fluvial em menor tempo. (CHEREM, 2008. Pág. 10). Esse foi um parâmetro usado de forma comparativa², estabelecendo relação relativa de maior ou menor susceptibilidade a inundações de acordo com o I_r analisado em relação a outro I_r .

A equação utilizada é dada por:

$$I_r = \frac{H}{Dd}$$

(4)

² Não foi encontrado parâmetro definido pela literatura para se trabalhar com o Índice de Rugosidade e com a Densidade de drenagem

Onde: H é a amplitude altimétrica da bacia hidrográfica ou área de contribuição, Dd é a densidade de drenagem da bacia hidrográfica ou área de contribuição

3.4 Modelagem e geoprocessamento

O geoprocessamento permite a interpretação da realidade por meio da utilização de modelos cartográficos que possibilitem a análise ou síntese do todo em temas, ou a partir de temas, visando representar o ambiente de modo simplificado em detrimento do atendimento de um objetivo. Nesse sentido, o modelador direciona sua perspectiva sobre o meio, decompondo-o e determinando quais temas e variáveis participarão e qual a importância de cada um em seu modelo. (Soares Filho, 2000)

Portanto, os modelos resultam da perspectiva do modelador em relação à realidade, na medida em que ele ressalta aspectos que acredita serem mais relevantes e ameniza interferências de aspectos que julga serem menos importantes para seu estudo. Desse modo, é possível extrair informações não perceptíveis quando a análise é realizada por meio de fatores isolados. Assim, ao modelar um fenômeno utilizando-se do geoprocessamento, é possível a observação de características antes imperceptíveis do ambiente, que podem explicar certas anomalias ou contradições no fenômeno. (Soares Filho, 2000; Silva, 2001)

A possibilidade de estudar fenômenos por meio da integração de variáveis é muito explorada nos estudos ambientais, objetivando a elaboração de modelos que permitam analisar o ambiente como um sistema estruturado de atributos. Nestes modelos, os componentes passam a interrelacionar-se e passam a operar conjuntamente como um todo complexo. Desse modo, é possível lidar com uma grande quantidade de variáveis, permitindo a realização de análises que resultam da interação entre estas variáveis. (Christofolletti, 1999).

Uma das formas de integração de múltiplos fatores é por meio da análise multicritério. Souza (2008) expõe que este tipo de análise se constitui em um sistema de suporte à decisão derivado da combinação de variáveis ou critérios ponderados, com o objetivo de encontrar alternativas para a resolução de problemas. Para isso, o decisor deve selecionar as características que serão abordadas, analisando seu comportamento individual e sua interação com o conjunto dos outros critérios. Gonçalves, Pinheiro e Freitas (2003) ressaltam que a análise multicritério permite a combinação de componentes da realidade que agem de maneiras distintas no meio ambiente, permitindo uma análise dinâmica do mesmo.

De acordo com Cordeiro, Barbosa e Câmara (2004), a aplicação da análise multicritérios - considerando a espacialização dos fenômenos - é realizada por meio da Álgebra de Mapas ou Álgebra Cartográfica, que consistem, de maneira simplificada, no tratamento e cruzamento de variáveis temáticas em planos de informação.

Atualmente houve um crescimento e ampliação da utilização da análise multicritérios, devido ao desenvolvimento dos sistemas computacionais e de informação. O uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) facilitou esse tipo de análise, visto que possui a capacidade de integrar um conjunto de ferramentas que permitem a manipulação de grandes quantidades de dados geográficos. É importante salientar que a manipulação dos dados em ambiente computacional necessita de um esforço teórico de modelagem dos dados e de todo o processo - objetivos, variáveis, ponderações e dados disponíveis - anteriormente à etapa de utilização do SIG. (Souza, 2008)

A manipulação dos dados em SIG deve ser feita em formato matricial, no qual os elementos são representados por *pixel*, unidade a partir da qual serão efetuados os cruzamentos. Para isso, os dados devem ser convertidos em raster e todas as variáveis analisadas devem ter o mesmo tamanho de *pixel* - tamanho este compatível aos objetivos do estudo – para que seja feito o cruzamento. (Soares Filho, 2000)

Após a conversão dos dados para o formato matricial, cada *pixel* recebe um valor quantitativo atribuído pelo modelador, sendo este valor essencial, pois é a partir dele que serão efetuados os cruzamentos. (Cordeiro, Barbosa e Câmara, 2004)

Essa hierarquização pode ser feita a partir de parâmetros determinados pela literatura ou basear-se em métodos de minimização da subjetividade da modelagem, como os métodos *data-driven*, em que as ponderações são realizadas por técnicas estatísticas, com a utilização de uma região conhecida para se estimar as relações, ou *knowledge-driven*, em que ocorre a utilização da opinião de especialistas para estabelecer as ponderações.

4- CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. Geologia da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

A Bacia do Ribeirão da Onça e parte significativa da Bacia do Ribeirão Arrudas estão inseridas na Unidade Geológica do Complexo Belo Horizonte, correspondente ao Domínio Geomorfológico da Depressão de Belo Horizonte. Essa última também abrange outras unidades geológicas em sua porção centro-leste, correspondente ao Domínio Geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero, a saber, em ordem em função de sua representatividade em termos de área: Sabará, Gandarela, Piracicaba e Cauê. A distribuição espacial destas unidades pode ser visualizada na Figura 9.

O Domínio do Complexo Belo Horizonte compreende gnaisses de idade arqueana, parcialmente remobilizadas e migmatizadas no Paleoproterozóico. (Parizzi, 2004).

Localmente o Domínio do Quadrilátero Ferrífero é composto pela Unidades Sabará, Cauê e Gandarela, além de áreas em que o Grupo Piracicaba não foi diferenciado em unidades. Essa divisão foi adotada por meio da utilização de *shapes* da CPRM (sem data da elaboração).

O Grupo Piracicaba é composto localmente por rochas paleoproterozóicas metassedimentares: filitos, xistos, dolomitos e quartzitos. Essas rochas apresentam-se atualmente em diferentes graus de intemperização, variando de acordo com suas propriedades hidrogeológicas e da morfologia local. A Unidade Cauê, por sua vez, é representada por itabiritos e dolomitos. Essas são rochas metassedimentares de origem química e sua localização ocorre próximo ao terço superior da serra do Curral. E a Unidade Sabará é constituída localmente por xistos e metagrauvaca, atualmente muito intemperizados.

Mapa de Unidades Geológicas da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

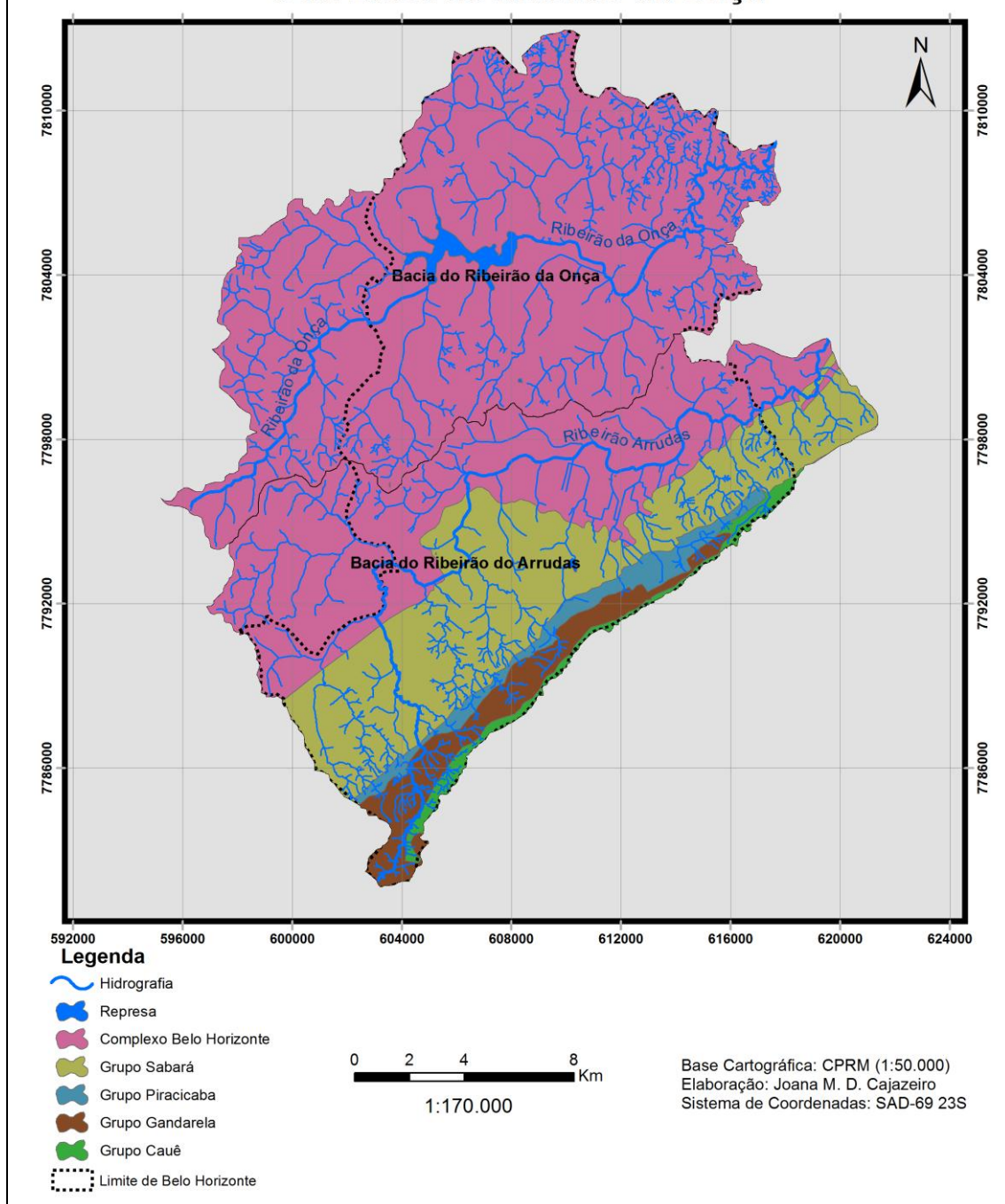


Figura 9: Mapa de unidades geológicas das Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça.

Fonte: CPRM (data não identificada).

4.2. Geomorfologia

Nas bacias analisadas podem ser distinguidos dois domínios: a Depressão de Belo Horizonte e o Quadrilátero Ferrífero. (SILVA *et al.*, 1995). A Bacia do Ribeirão da Onça é totalmente abrangida pelo Domínio Geomorfológico da Depressão de Belo Horizonte. Já a Bacia do Ribeirão Arrudas possui morfologia diversificada com íntima relação com sua geologia.

A Depressão de Belo Horizonte, que corresponde à maior parte da área de estudo, correlaciona-se geologicamente ao domínio do Complexo Belo Horizonte. O Quadrilátero Ferrífero, por sua vez, se relaciona ao domínio da sequência de rochas metassedimentares do Supergrupo Minas, representado pelas unidades dos Grupos Cauê, Sabará, Piracicaba e Gandarela.

A Depressão de Belo Horizonte apresenta morfologia rebaixada e é delimitada a sul pela Serra do Curral, correspondente ao limite norte do Quadrilátero Ferrífero. Caracteriza-se pelo predomínio de um relevo de colinas suaves, com encostas côncavo-convexas, altitudes médias entre 800-900 metros (Figura 10) e declividades médias de 0 a 12% que aumentam em direção aos eixos de drenagem (Figura 11), resultado da dissecação fluvial das áreas gnáissicas.

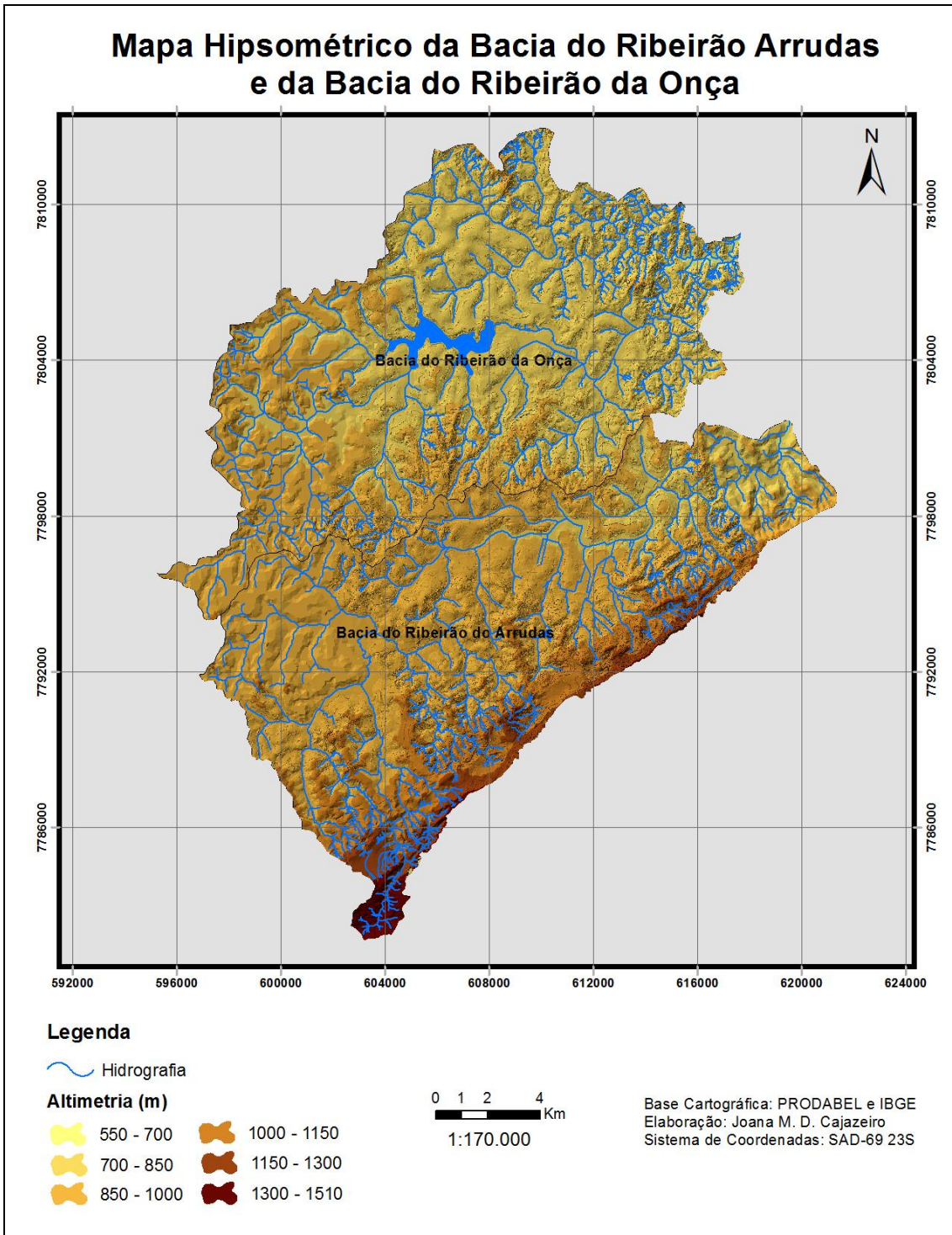


Figura 10: Mapa hipsométrico da Bacia do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça.
Fonte: PRODABEL E IBGE (sem data).

Mapa de Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Córrego da Onça

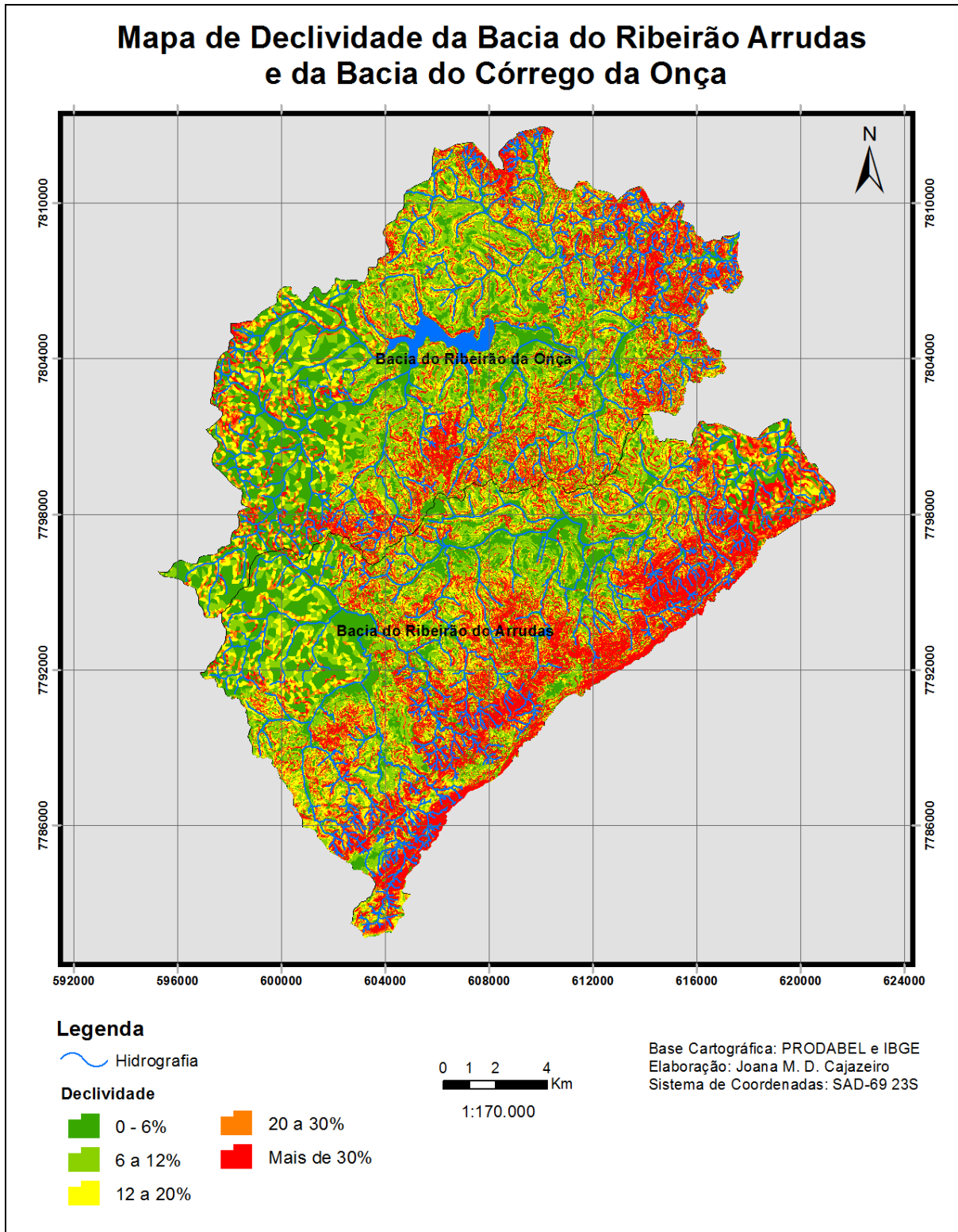


Figura 11: Mapa de Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: PRODABEL e IBGE (sem data).

As menores cotas altimétricas localizam-se junto ao eixo de drenagem do Ribeirão Arrudas, que apresenta altitudes entre 680 e 690 m e as máximas em torno dos 1000m (BAUMGRATZ, 1988). Espigões alongados de sentido N-S ou E-W destacam-se na paisagem, mas suas altitudes são inferiores às do domínio metassedimentar. Além de contrastarem pela altitude, os espigões diferenciam-se das colinas por suas declividades médias e altas, muito vulneráveis ao escoamento torrencial (Silva *et al.*, 1995).

O compartimento geomorfológico do Quadrilátero Ferrífero corresponde, na área em estudo, a uma morfologia serrana com as cristas configuradas sobre os itabiritos da Formação Cauê, protegidas da erosão pelas carapaças ferruginosas resultantes do intemperismo. As rochas das outras unidades geológicas do Supergrupo Minas, por serem menos resistentes ao intemperismo, originaram áreas rebaixadas e mais suavizadas em relação às cristas nos itabiritos. Espigões, feições côncavas do tipo anfiteatro e morros por vezes com declividades acentuadas ocorrem nas litologias do Grupo Sabará. (PARIZZI, 2004).

O compartimento do Quadrilátero Ferrífero se caracteriza pelas mais elevadas altitudes da região (Figura 10), com média superior a 1000 metros e atingindo um máximo de 1510 metros no Pico do Rola Moça. Suas declividades são acentuadas em quase toda a sua extensão, fruto da dissecação diferencial (Figura 11).

A direção geral das cristas serranas é NE-SW e são constituídas por quartzitos intercalados com patamares suavizados de filitos. Cabeceiras em anfiteatro com paredes escarpadas podem ocorrer em algumas áreas. (Silva *et al.*, 1995)

4.3. Clima

Belo Horizonte e seu entorno apresentam duas estações climáticas definidas: uma seca e uma chuvosa. Essa caracterização é fruto de uma destacada oscilação na quantidade de chuvas entre outubro e março - período chuvoso – em relação ao período entre abril a setembro – época de seca - conforme pode ser visto no gráfico da Figura 12. Esses dados são confirmados por Abreu (1998) e Moreira (2002), que afirmam que 88% do total anual de

chuva de Belo Horizonte concentra-se nos meses de outubro a março, sendo os 12% restantes distribuídos entre abril e setembro.

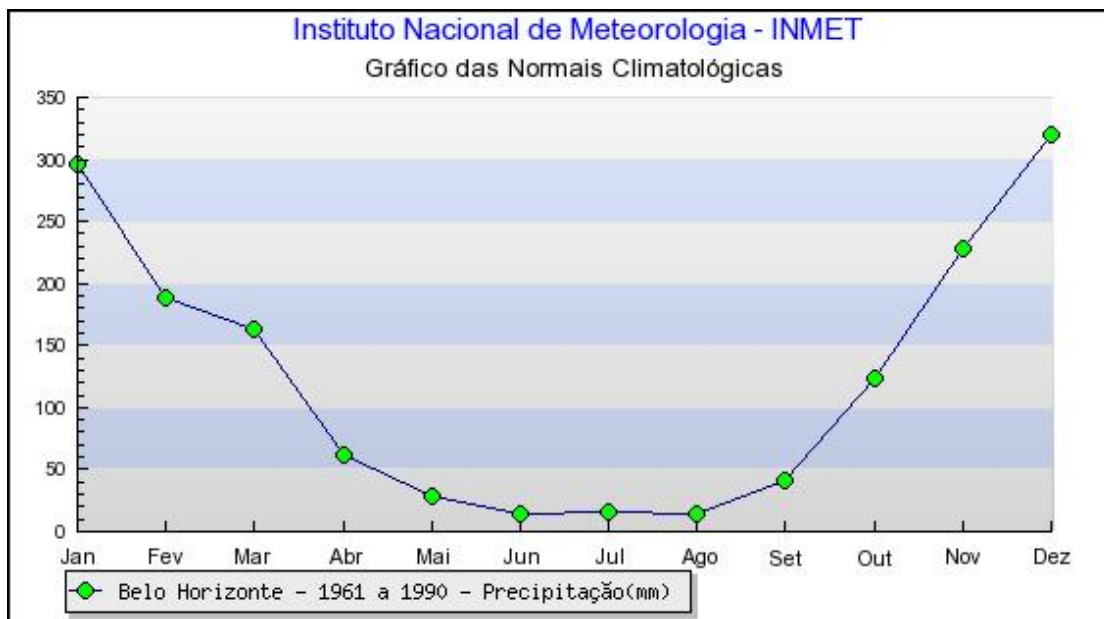


Figura 12: Normal climatológica de precipitação de chuva em mm de Belo Horizonte (1961-1990).
Fonte: INMET (2011).

No entanto, a oscilação da quantidade de chuva não é acompanhada por uma modificação marcante das médias de temperaturas, que variam de um mínimo de 18°C em junho até um máximo de cerca de 23°C em fevereiro, como mostra o gráfico da Figura 13.

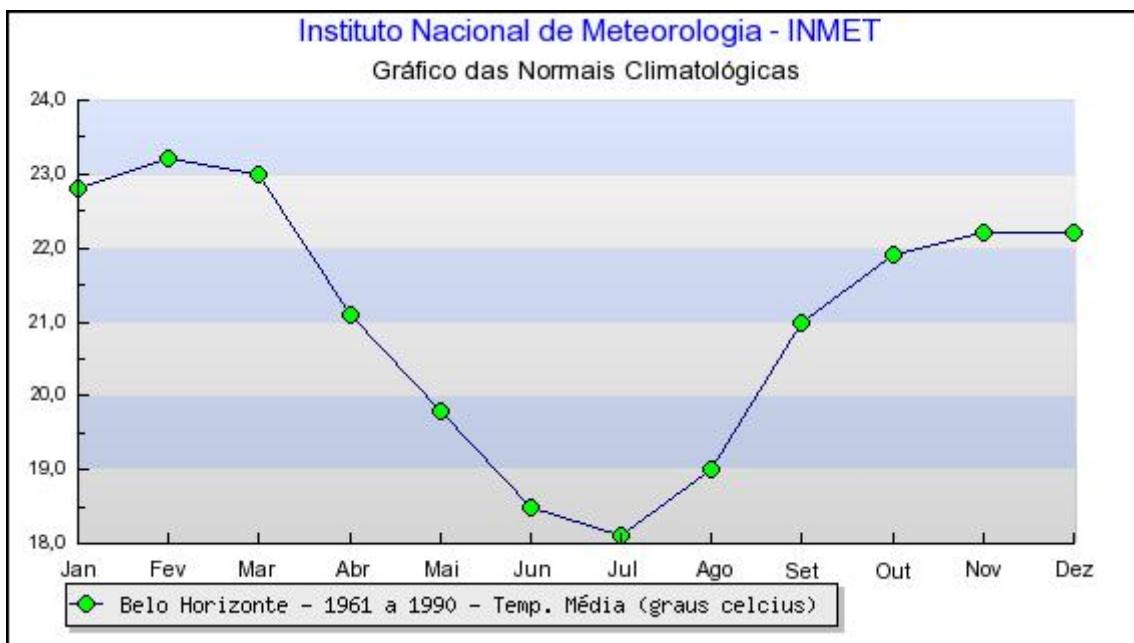


Figura 13: Normal climatológica de temperatura em °C de Belo Horizonte (1961-1990).
Fonte: INMET (2011).

De acordo com Reis e Simões (2007) no mês de outubro começam as primeiras precipitações do período chuvoso, marcando a chegada de frentes frias. Entretanto, nos últimos anos, observa-se a ocorrência de chuvas convectivas, resultando em eventos de grande intensidade na capital mineira.

Em termos do tipo de chuva, as precipitações pluviais na RMBH (Região Metropolitana de Belo Horizonte) estão associadas ao aquecimento continental, à atuação de sistemas frontais e à Zona de Convergência do Atlântico Sul – ZCAS. No que se refere às flutuações climáticas, Ribeiro & Mol (1985) sugerem que as características climáticas locais vêm sofrendo alterações. Abreu *et al.* (1998) indicaram que as chuvas da região poderiam estar sendo influenciadas por fenômenos de larga escala, como *El Niño* e *La Niña*. Reis & Simões (2007) afirmaram que precipitações intensas, ultrapassando 100 mm diários, têm se tornado constantes desde a década de 80 na RMBH e que estas vêm aumentando sua frequência.

4.4. Bacias Hidrográficas

As bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão do Onça fazem parte da Bacia do Rio das Velhas, conforme ilustra a Figura 14.

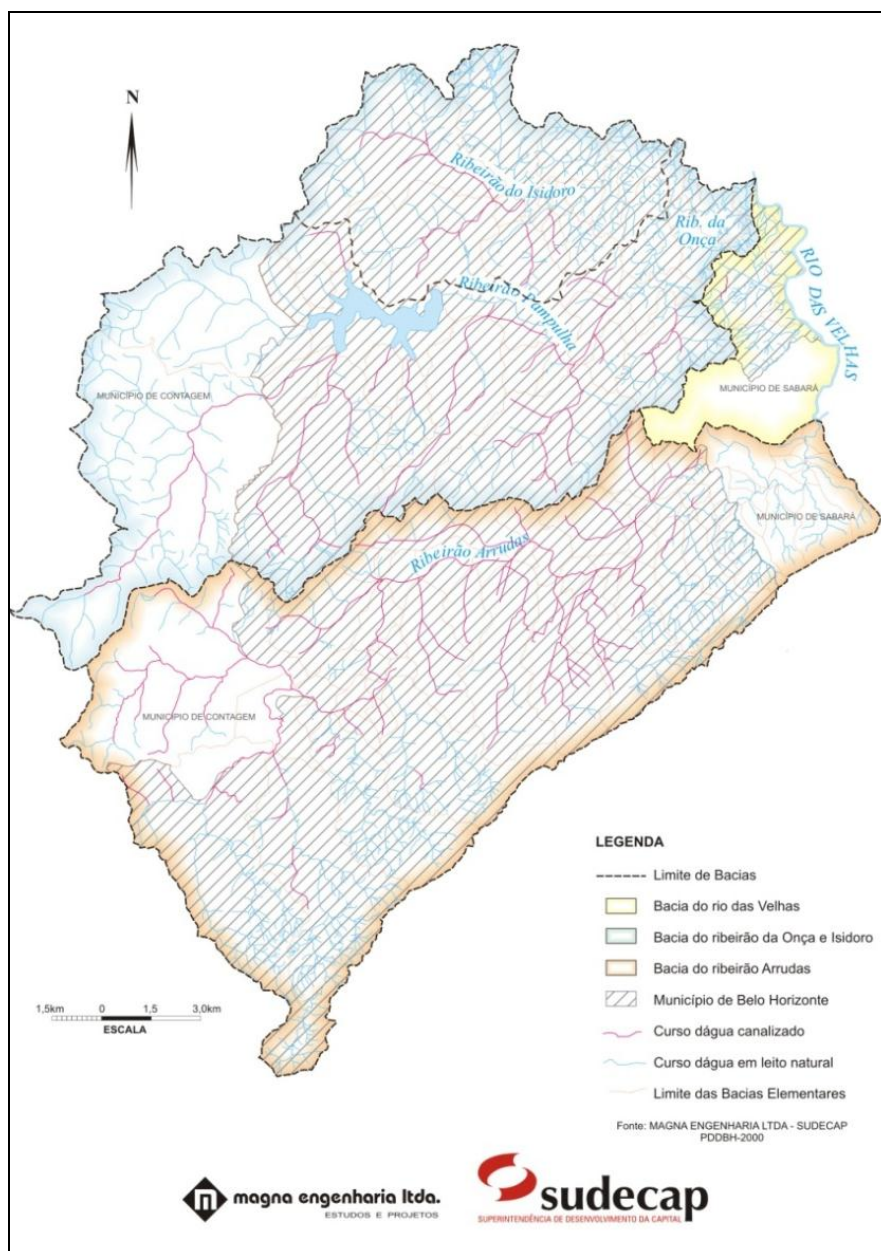


Figura 14: Bacias hidrográficas do Município de Belo Horizonte e Contagem.

Fonte: Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000).

A Bacia do Ribeirão do Onça, que abrange uma área de 212 km², se localiza na porção norte do município de Belo Horizonte, além de englobar outros municípios. Ela representa a área mais urbanizada da bacia Rio das Velhas e o seu curso principal – o Ribeirão da Onça - e é responsável pela maior parte da poluição do Rio das Velhas. O Ribeirão nasce em Contagem e deságua no Rio das Velhas em Santa Luzia. (Manuelzão, 2009)

Suas altitudes variam entre 680 a 850 metros, apresentando morfologia de colinas de topo plano a convexo com encostas variando entre côncavas e convexas, fruto da dissecação fluvial das áreas gnáissicas. (REIS, 2011)

De acordo com REIS (2011), a Bacia do Ribeirão do Onça apresenta rede de drenagem semelhante ao padrão dendrítico e os rios possuem padrão fluvial meandrante de baixa sinuosidade. A autora salientou que bacia se caracteriza por ser do tipo circular a ramificada, mas ressaltou a necessidade de estudos específicos para a comprovação de sua forma com mais precisão.

A Bacia do Ribeirão do Arrudas, por sua vez, se localiza na região sul de Belo Horizonte e abrange parte dos municípios de Contagem e Sabará e apresenta uma área de 208,47 Km². (Manuelzão, 2009)

REIS (2011) destaca que a bacia do Ribeirão Arrudas caracteriza-se por apresentar um padrão de rede de drenagem semelhante ao paralelo e elíptico a ramificado- conforme definição de Christofolletti (1980)- em quase toda a sua porção sul, devido às influências exercidas pela Serra do Curral localmente.

4.5. Uso e Ocupação do Solo

O uso e ocupação do solo das bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça é predominantemente urbano, existindo poucas áreas não ocupadas, representadas principalmente por áreas verdes, sendo muitas delas parques e lotes vagos (Figura 15). Desse modo, esta é uma área que se apresenta profundamente alterada, com grande impermeabilização do solo e modificações no comportamento hidrológico natural. A área das bacias referente ao município de Belo Horizonte é onde se encontra maior alteração. As áreas menos modificadas se encontram em sua porção sudeste, que coincide com a Serra do Curral; noroeste, referente ao município de Contagem; e a ponta leste, representada pelo município de Sabará.

Mapa de visualização do uso e ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth

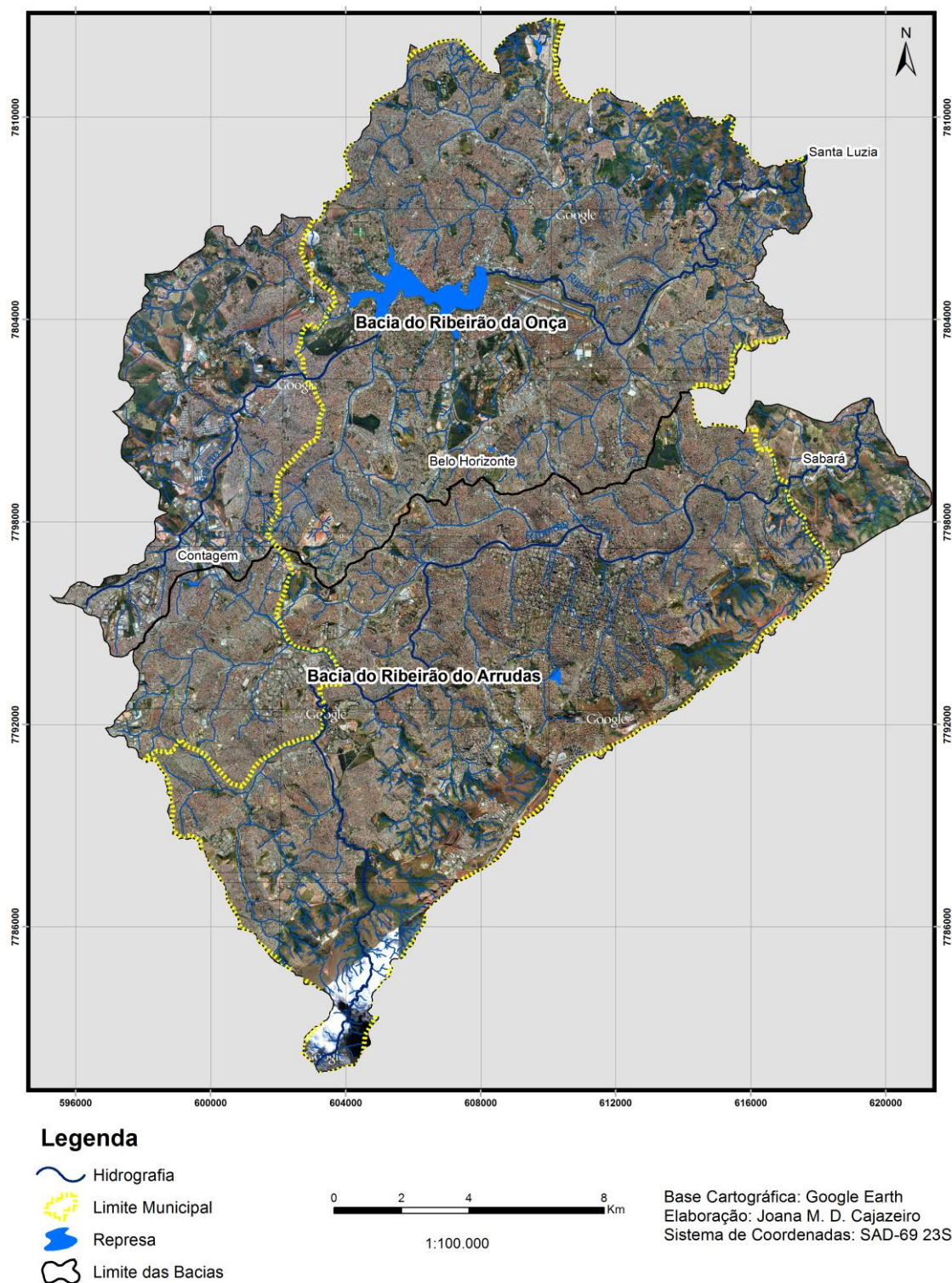


Figura 15: Mapa de visualização do uso e ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth
Fonte: Google Earth (2011)

5- METODOLOGIA

O desenvolvimento deste trabalho foi baseado em procedimentos que objetivaram a análise do comportamento de susceptibilidade a inundações nas bacias hidrográficas do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça. Para isso, foram estudadas características físicas e hidrológicas dessas bacias, interpretáveis por meio dos parâmetros morfométricos selecionados, de sua hipsometria e declividade, além da existência ou não de impermeabilização do solo. O organograma da Figura 16 ilustra os procedimentos para se alcançar este objetivo central.

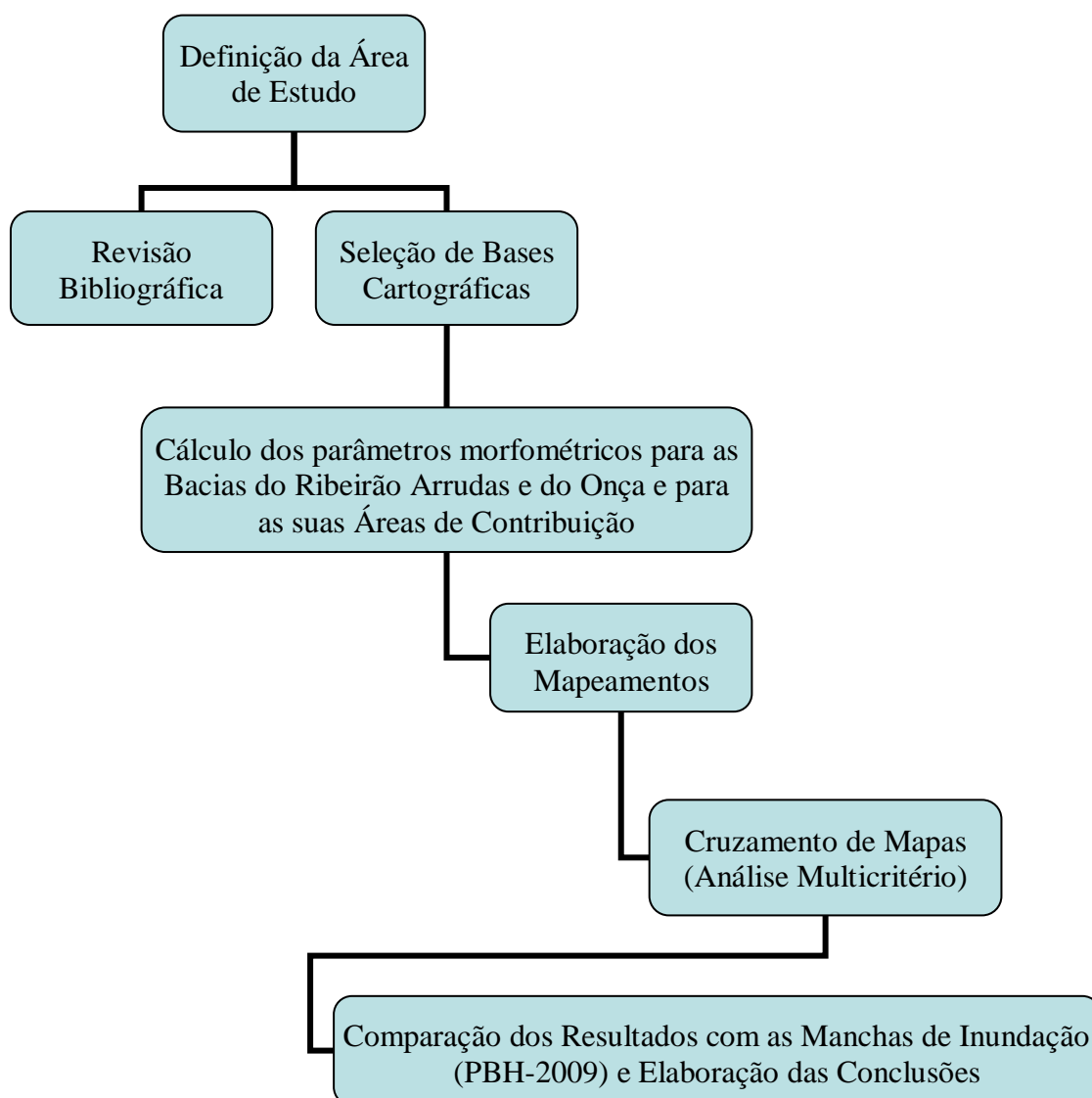


Figura 16: Organograma da metodologia de trabalho.

O cruzamento de mapas feito para se gerar os produtos visuais finais do trabalho seguiram a metodologia que se segue na Figura 17:

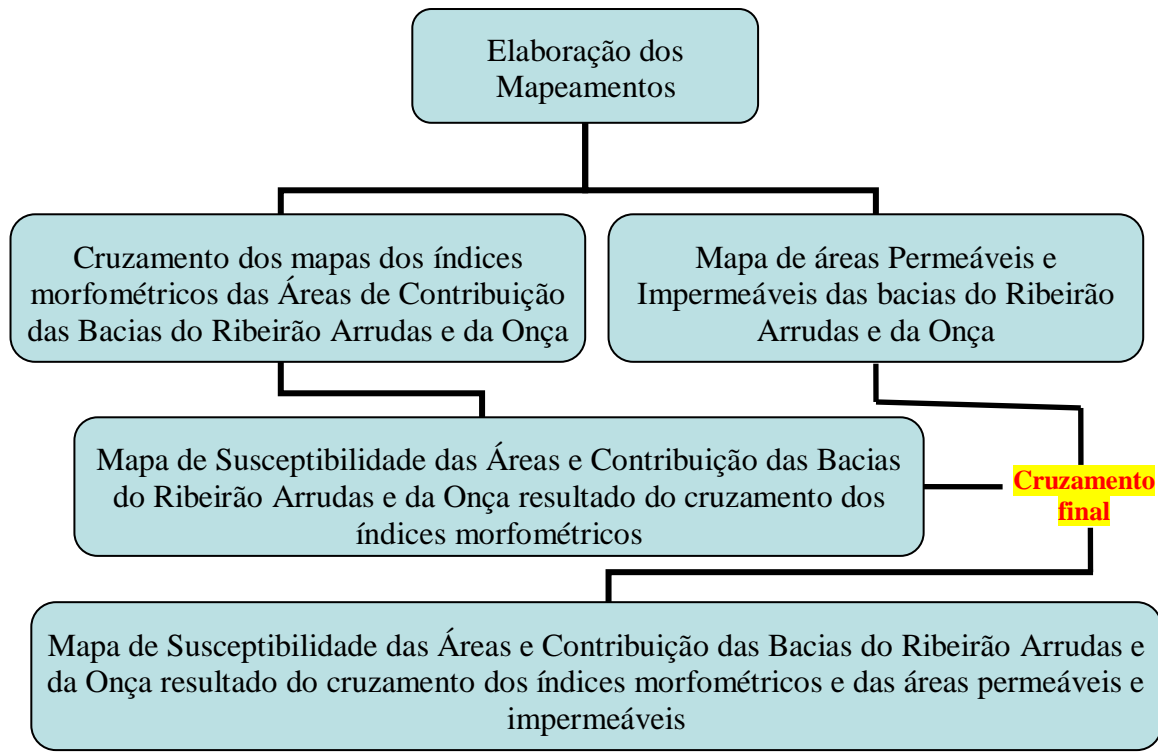


Figura 17: Organograma dos procedimentos de cruzamento de mapas para Análise Multicritério

5.1. Definição da área de estudo

A definição da área de estudo foi baseada na importância de se entender mais profundamente o comportamento das duas bacias hidrográficas que abrangem o município de Belo Horizonte em termos de seus comportamentos em relação à formação de inundações. Esta motivação decorre do fato da capital mineira vir sofrendo com problemas relacionados a estes eventos ano após ano, muitas vezes associados com perdas materiais e humanas.

No entanto, apesar da motivação ser Belo Horizonte, a área de estudo não se restringe a seu limite municipal, estendendo-se por toda a Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão do Onça, abrangendo, portanto, partes de outros municípios. Tal limite foi adotado para conferir consistência às análises morfométricas realizadas.

Enquanto o município de Belo Horizonte possui extensão de cerca de 330 Km², a Bacia do Ribeirão Arrudas, no norte da capital mineira, compreende uma área de 206,62 Km² e a Bacia do Ribeirão da Onça, no sul, 210,41 Km².

O reconhecimento da área de estudo foi realizado por meio de imagens de satélite obtidas pelo Google Earth (<http://earth.google.com/>), acessadas em agosto de 2011, e por trabalhos de campo, que permitiram a coleta de dados e conferência de resultados.

A definição metodológica surgiu com o intuito de avançar com os estudos das manchas de inundação de Belo Horizonte feitos pela SUDECAP e SMURBE – PBH (2009), através da análise de fatores físicos, hidrológicos e referentes impermeabilização dessas bacias.

5.2. Revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica efetuada baseou-se nos temas de interesse direto para a pesquisa: o fenômeno da inundação, aspectos de hidrologia urbana, estudos sobre morfometria e outros que tivessem como foco as bacias hidrográficas do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão do Onça.

Os estudos teóricos sustentaram o início do desenvolvimento dos trabalhos, auxiliando na definição dos parâmetros morfométricos, que foram escolhidos pela possibilidade de expressarem fatores que contribuam para a formação de inundações em ambas as bacias.

Após esses procedimentos, foi feita a pesquisa das bases cartográficas e dados disponíveis para a realização dos mapeamentos e dos cálculos morfométricos, sendo assim selecionados, dentre os parâmetros previamente selecionados, aqueles possíveis de serem calculados com os dados disponíveis.

Além disso, a revisão bibliográfica permitiu o embasamento teórico para definição das divisões de classe de cada fator analisado, bem como para o cruzamento de

dados e análise dos resultados. E, em um último momento, os estudos apoiaram a revisão e as correções que se fizeram necessárias.

5.3. Definição dos parâmetros morfométricos

Os parâmetros morfométricos foram selecionados de acordo com sua maior relevância para o estudo e que pudessem ser calculados a partir dos dados disponíveis. Esses parâmetros foram aplicados para as Bacias do Ribeirão da Onça e Ribeirão Arrudas, permitindo uma análise geral dos índices de ambas as bacias, bem como de suas áreas de contribuição. Isso possibilitou o entendimento mais pormenorizado das áreas mais críticas para formações de inundações em cada uma das duas bacias. Em um segundo momento o resultado dessas análises foi comparado às manchas de inundação mapeadas pela SUDECAP e SMURBE – PBH (2009), permitindo verificar se os padrões encontrados refletiam as áreas de inundação existentes no município.

Os índices utilizados para avaliar a susceptibilidade à inundação dessas bacias hidrográficas foram:

5.3.1 Relação entre Gradientes dos Canais

O índice de Relação entre Gradientes dos Canais trata da relação entre a declividade média dos canais de determinada ordem e os de ordem superior. Assim sendo, canais de ordem inferior com maior declividade que canais de ordem superior favoreceriam a formação de inundações, pela tendência dos de menor hierarquia formarem enxurradas devido à sua elevada transmissibilidade hidráulica, e os de maior hierarquia não conseguem dar vazão ao volume que chega em pouco tempo, transbordando. (REIS, 2011)

A divisão de classes foi feita para R_{gc} maiores e menores que 1, sendo que os maiores foram classificados como alta susceptibilidade à formação de inundações e os menores como baixa susceptibilidade. Isso, pois valores de R_{gc} maiores que 1 refletem que a declividade média dos canais de determinada ordem é maior que a dos canais de ordem imediatamente superior, localizados à jusante daqueles. Desse modo, haveria o favorecimento da formação de inundações, pois os rios de montante possuiriam maior transmissibilidade hidráulica que os de jusante, tendendo a água se acumular nestes últimos. O contrário

aconteceria nos canais com R_{gc} menor que 1, minimizando a susceptibilidade desses canais em sofrerem inundações.

5.3.2 Índice de Circularidade

O índice de circularidade dá uma resposta direta da susceptibilidade à inundações de uma bacia em termos de sua forma. As bacias de formato mais circular tendem a possuir maiores valores de I_c , apresentando maior probabilidade de inundações que as bacias alongadas, já que teriam um menor tempo de concentração.

A divisão de classes foi feita com base em Alves e Castro (2003), que afirmam que as bacias com I_c inferiores a 0,51 – de formato mais alongado – possuem baixa susceptibilidade à formação de inundações, pois favorecem o escoamento. Já bacias com índices maiores que 0,51 – mais circulares – teriam alta susceptibilidade às inundações, porque favoreceriam a concentração das águas superficiais.

5.3.3 Densidade de Drenagem

A densidade de drenagem (D_d) é um índice que indica o comportamento hidrológico local. Assim sendo, quanto maior a D_d de uma bacia ou área de contribuição, maior o comprimento de rios naquele lugar, indicando uma menor infiltração de água nos solos e (ou) rochas. Ele serve para comparar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas em um mesmo ambiente climático.

A divisão de classes foi feita com base no valor que indicasse uma ruptura no comportamento dos valores analisados. Os valores de densidade de drenagem variaram entre 0,037 a 43,81, havendo grande concentração de áreas de contribuição no intervalo de 0,037 a 10 Km/Km^2 , sendo que após esse valor observou-se um crescimento não gradativo dos valores até o máximo encontrado, fazendo com que a susceptibilidade a inundações aumentasse de modo muito rápido a partir desse valor. Portanto, a divisão foi com base nas diferenças de concentração dos valores de D_d observados no mapa, resultando nas classes com valores inferiores e superiores a 10 Km/Km^2 , indicando que os primeiros teriam baixa susceptibilidade à formação de inundações e os últimos alta susceptibilidade.

5.3.4 Índice de Rugosidade

Índice de rugosidade (Ir): O índice de rugosidade, por relacionar aspectos de declividade e comprimento das vertentes, pode dar respostas da susceptibilidade a inundações em termos da energia dos fluxos na bacia e de sua transmissibilidade hidráulica. (CHEREM, 2008). Portanto esse é um parâmetro comparativo, estabelecendo relação relativa de maior ou menor susceptibilidade a inundações.

A divisão de classes do índice de rugosidade também foi feita com base no valor que indicasse uma ruptura no comportamento dos valores analisados. Os valores de Ir variaram entre 2,53 a 3091, com elevada concentração de áreas de contribuição com Ir no intervalo de 2,53 a 61. Desse modo, a divisão de classes foi feitas em valores inferiores e superiores a 61, pois acima de 61 a susceptibilidade a inundações apresentou aumento muito intenso. As áreas de contribuição com valores acima de 61 foram categorizadas como de alta susceptibilidade a inundações e as com valores abaixo de 61, como de baixa. Isso, porque elevados Ir indicam alta energia para as bacias, gerada pela elevada amplitude altimétrica, acarretando em menor tempo para converter o fluxo de vertente em fluxo fluvial. (CHEREM, 2008).

5.4 Mapeamentos

A seleção de bases cartográficas foi realizada em termos da área de estudo escolhida e utilizada de acordo com o tema a ser trabalhado em cada mapeamento. Salienta-se que a maior parte das bases cartográficas conseguidas no formato vetorial, podendo ser utilizadas prontamente sem necessidade de vetorização prévia, não possuem indicação de sua data de elaboração. Por isso, essas datas não são indicadas nas fontes e nem nas descrições que se seguem neste subitem da metodologia.

5.4.1 Mapa de Localização de Belo Horizonte

O mapa de Localização de Belo Horizonte foi elaborado com o intuito de indicar a localização geográfica desse município dentro do estado de Minas Gerais. Para tanto, foram utilizadas bases cartográficas do GeoMinas, cujo sítio é <http://www.geominas.mg.gov.br/>, e que fornece *shapes* prontos para serem utilizados no programa ArcView 10.

5.4.2 Mapa das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e Limite Municipal de Belo Horizonte

O mapa das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça foi elaborado com o objetivo de indicar os limites geográficos de ambas as bacias e de delimitar Belo Horizonte dentro desse contexto, resultando daí a necessidade de incorporação do limite municipal da capital mineira ao mapa.

As bases cartográficas utilizadas para isso foram as da Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000), que forneceram imagem raster, na qual foi realizado o procedimento de georreferenciamento seguido de vetorização dos limites das bacias hidrográficas estudadas. O limite municipal de Belo Horizonte utilizado foi o do GeoMinas em formato *shape*. Todo esse mapa foi elaborado no programa ArcView 10.

5.4.3 Mapa da Dinâmica de Ocupação de Belo Horizonte entre 1918 e 2007

O Mapa da Dinâmica de Ocupação de Belo Horizonte entre 1918 e 2007 foi confeccionado a partir de *shapes* elaborados em 2007 e cedidos por Miguel F. Fernandes, que os utilizou em seu trabalho FERNANDES (2007). Este mapa mostra o processo de ocupação da cidade e a rápida expansão da rede urbana e objetiva ilustrar a urbanização de Belo Horizonte sem prévio planejamento, o que impacta significativamente sobre a formação de inundações atualmente.

5.4.4 Mapa das Manchas de Inundação do Município de Belo Horizonte

O Mapa das Manchas de Inundação do Município de Belo Horizonte foi elaborado a partir do *shape* com os limites das bacias estudadas, obtidas a partir do mapa da Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000) e das manchas mapeadas pela SUDECAP e SMURBE – PBH (2009); cedidas em formato vetorial por Patrícia Reis, que as utilizou no trabalho de REIS (2011). Essas manchas foram utilizadas em diversos mapas a fim de comparar os resultados obtidos pela morfometria, impermeabilização do solo e cruzamento de dados com as áreas que possuem inundação em Belo Horizonte.

O mapa inicial foi elaborado com o intuito de mostrar as áreas com maior frequência de ocorrência dos processos de inundação na capital mineira, apresentando sua espacialização.

5.4.5 Mapa de Unidades Geológicas das Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça

O Mapa de Unidades Geológicas das Bacias do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça foi elaborado a partir de bases cartográficas em formato vetorial da CPRM, sem data vinculada aos *shapes*. Este mapa foi feito com o objetivo de caracterizar a litologia de ambas as bacias estudadas, servindo de subsídios para análises vindouras que pudessem ser reflexo dos tipos de solo e rochas locais.

5.4.6 Mapa Hipsométrico e Mapa de Declividade da Bacia do Ribeirão Arrudas e do Ribeirão da Onça

Os mapas Hipsométrico e de Declividade das bacias estudadas foram elaborados a partir de mesmas bases cartográficas: curvas de nível com equidistância de 5 metros para o município de Belo Horizonte, cedidas pela PRODABEL - sem data vinculada ao *shape* – e curvas de nível do IBGE para o restante das bacias, com equidistância de 20 metros e também sem data vinculada ao *shape*. Essas curvas foram trianguladas para se gerar a malha tin – a partir da extensão 3D Analyst do programa ArcView 10 – a partir da qual foi gerado o mapa hipsométrico e o de declividade.

Os intervalos de classe do Mapa Hipsométrico basearam-se em uma divisão em iguais intervalos de classe a partir da altitude mínima local até a altitude máxima. Os intervalos de classe do Mapa de Declividade, por sua vez, foram baseados nos parâmetros propostos por Ross (1996), referidos na 5.

Tabela 5: Tabela de graus de suscetibilidade da declividade à erosão.

Classes de fragilidade	Declividade (%)
Muito Fraca	Até 6%
Fraca	De 6 a 12%
Média	De 12 a 20%
Forte	De 20 a 30%
Muito Forte	Acima de 30%

Fonte: Ross (1996)

De acordo com Ross (1996) esta divisão baseou-se nos valores de declividades consagrados em estudos de capacidade de uso/aptidão agrícola, associados aos valores limites críticos da geotecnia, desse modo também influenciando na formação de inundações com o aumento da energia dos fluxos com o crescimento da declividade.

Ambos os mapas tiveram como objetivo auxiliar na caracterização da morfologia local, relativa a aspectos que influenciam na formação de inundações, como presença de elevações e depressões relativas, áreas de alta e baixa declividade, dentre outros. Ressalta-se que em estudos futuros também seria interessante a análise da forma das vertentes, bem como a direção dos fluxos de vertente.

5.4.7 Mapa de Visualização do Uso e Ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth

O Mapa de Visualização do Uso e Ocupação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça a partir de mosaico Google Earth foi elaborado com intuito de permitir a visualização do uso e ocupação de ambas as bacias. Neste mapa não foram individualizados diferentes usos, sendo apresentada a imagem a partir de recortes no programa, montada por meio de georreferenciamento das mesmas no *software* ArcView 10. Foi necessária a montagem do mosaico, pois somente uma imagem de toda a área não permitiria qualidade suficiente para ideal visualização. Esse mosaico foi utilizado para o mapeamento de áreas permeáveis e impermeáveis, sendo que a parte sudeste, recoberta por nuvens, necessitou de campo para validação da categoria que seria vetorizada.

5.4.8 Mapa de Relação entre os Gradientes de canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça

O Mapa de Relação entre os Gradientes de canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça foi elaborado a partir de *shapes* derivados do trabalho de SUDECAP e SMURBE – PBH (2009) e das curvas de nível do IBGE, com equidistância de 20 metros e da PRODABEL, com equidistância de 5 metros. Este mapa foi feito somente para as bacias, pois as áreas de contribuição, ao não se configurarem como bacias, não permitiriam a hierarquização fluvial necessária para o cálculo.

Esse mapa foi explorado inicialmente sem as manchas de inundação para descrição das áreas mais e menos susceptíveis ao processo de formação de inundações. Posteriormente, ele foi elaborado junto com as manchas para comparação dos resultados obtidos com a realidade das áreas que sofrem com o problema na capital mineira. Desse modo, pôde-se perceber o quão explicativo esse parâmetro se fazia diante das manchas já mapeadas pela prefeitura de Belo Horizonte.

A divisão de classes do RGC em alta e baixa susceptibilidade para dar origem ao cruzamento de dados foi realizada da seguinte maneira, conforme pode ser visualizado na Tabela 6:

Tabela 6: Classes de Susceptibilidade de acordo com RGC

Rgc	Susceptibilidade
<1	Baixa
>1	Alta

5.4.9 Mapa de Índice de Circularidade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

O Mapa de Índice de Circularidade da bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborado a partir do *shape* de delimitação das bacias e do *shape* de delimitação das áreas de contribuição – para obtenção dos perímetros e áreas- vetorizadas a partir da Carta da Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000).

A hierarquização em baixa e alta susceptibilidade foi realizada a partir dos parâmetros propostos por Alves e Castro (2003), da seguinte maneira, conforme pode ser visualizado na Tabela 7:

Tabela 7: Classes de Susceptibilidade de acordo com Ic

Ic	Susceptibilidade
<0,51	Baixa
>0,51	Alta

Esse mapa foi elaborado para ambas as bacias em estudo e para as suas áreas de contribuição. Para essas últimas primeiro analisou-se o mapa sem manchas de inundação, permitindo visualizar as áreas mais críticas à formação de inundações de acordo com o parâmetro do índice de circularidade. Posteriormente, as manchas de inundação foram incluídas, permitindo a verificação do grau de adequação do índice à realidade da capital mineira.

5.4.10 Mapa da Densidade de Drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

O Mapa da Densidade de Drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborado a partir do *shape* de delimitação das bacias e áreas de contribuição – a fim de se obter suas áreas - vetorizados a partir da Carta da Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000), e do *shape* de hidrografia SUDECAP e SMURBE – PBH (2009), para obtenção do comprimento dos rios.

Esse mapa foi desenvolvido tanto para as bacias, quanto para as áreas de contribuição. A ponderação desse parâmetro para as áreas de contribuição foi realizada a partir da divisão em classes levando em conta o padrão de organização desses valores. Desse modo, estabeleceram-se as seguintes classes associadas à baixa e alta susceptibilidade à inundação (Tabela 8):

Tabela 8: Classes de Susceptibilidade de acordo com Dd

Dd	Susceptibilidade
<10 Km/Km²	Baixa
>10 Km/Km²	Alta

As áreas de contribuição foram analisadas inicialmente sem as manchas de inundação, permitindo a caracterização das áreas mais e menos susceptíveis a inundações. Após isso, verificou-se se os resultados obtidos eram ou não explicativos da realidade da capital mineira, por meio da inclusão das manchas de inundação no mapa para essa análise.

5.4.11 Mapa do Índice de Rugosidade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

O Mapa do Índice de Rugosidade da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborado a partir da obtenção da amplitude altimétrica por meio das curvas de nível do IBGE, com equidistância de 20 metros e da PRODABEL, com equidistância de 5 metros; e a partir dos resultados obtidos no cálculo de densidade de drenagem.

Esse mapa foi desenvolvido para ambas as bacias e para suas áreas de contribuição, sendo que para essas últimas inicialmente foi realizada a análise das áreas mais e menos susceptíveis e depois verificada a compatibilidade dos resultados encontrados com as manchas de inundação de Belo Horizonte. A ponderação das classes foi feita do mesmo modo como a da densidade de drenagem, considerando o padrão de organização dos valores obtidos. Desse modo, a divisão foi feita como se segue na Tabela 9:

Tabela 9: Classes de Susceptibilidade de acordo com Ir

Ir	Susceptibilidade
<61	Baixa
>61	Alta

5.4.12 Análise Integrada dos Fatores Morfométricos

A Análise Integrada dos Fatores Morfométricos foi realizada pelo cruzamento dos mapas dos índices morfométricos analisados e anteriormente descritos. Para tanto, todos os mapas elaborados foram transformados em raster e as classes de baixa e alta susceptibilidade receberam valores numéricos para permitir os cálculos matemáticos no cruzamento. Para isso, as classes foram valorizadas como se segue no Tabela 10:

Tabela 10: Valorização das Classes de Susceptibilidade dos Fatores Morfométricos

Susceptibilidade	Valor
Baixa	1
Alta	2

Para proceder ao cruzamento, cada um dos mapas recebeu igual ponderação, não havendo maior peso para nenhum dos parâmetros analisados. Dessa forma, obteve-se um mapa que considera igualmente os índices, expressando o resultado da combinação dos mesmos. Como resultado obteve-se um mapa com três classes de susceptibilidade: alta, média e baixa. Esse mapa foi analisado, sendo descritas as áreas mais e menos críticas às inundações e em seguida foi comparado às manchas de inundação mapeadas pela prefeitura, permitindo saber se os parâmetros morfométricos são explicativos desses fenômenos na capital mineira.

5.4.13 Análise da Impermeabilização do Solo

A existência ou não de impermeabilização do solo é um fator muito importante que deve ser considerado nas análises de inundação, visto que aumenta significativamente o volume de água escoado superficialmente, além das velocidades dos fluxos. O Mapa das Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborado por meio da vetorização das áreas impermeáveis (área urbana) e permeáveis (áreas verdes e lotes vagos) a partir do mosaico do Google Earth, utilizado para isso o mapa de visualização do uso e ocupação das bacias e de campo para retirada de dúvidas. Esse mapa foi analisado juntamente com as manchas de inundação mapeadas pela prefeitura para discussão de possíveis explicações antrópicas ou naturais para as manchas.

5.4.14 Análise Integrada da Impermeabilização do Solo e da Morfometria

O Mapa de Susceptibilidade a Inundações da Morfometria e Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça foi elaborado a partir do Mapa de Susceptibilidade a Inundações da Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça e do Mapa das Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça. Esse último foi transformado em formato raster e teve a seguinte valorização de suas classes (Tabela 11):

Tabela 11: Valorização das Classes de Susceptibilidade da Impermeabilização do Solo

Classes	Valor
Áreas Permeáveis	1
Áreas Impermeáveis	2

Com os dois mapas em formato raster procedeu-se ao cruzamento, no qual cada mapa recebeu ponderação de 50%. Ou seja, por se tratar de uma área urbana foi dada mesma valorização para os aspectos naturais e para os aspectos antrópicos, pois esses últimos alteram significativamente as características locais. Como resultado obteve-se um mapa com as classes de susceptibilidade Muito Alta, Alta, Média e Baixa. Esse mapa foi analisado

separadamente e posteriormente foi comparado às manchas de inundação para verificação de seu poder explicativo do fenômeno.

5.4.15 Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

O Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça foi elaborado a partir das bases cartográficas Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000) e SUDECAP e SMURBE – PBH (2009). A partir desse mapa pôde-se analisar se as obras executadas de canalização de rios tiveram ou não bons resultados na capital mineira.

6- RESULTADOS

6.1. Análise dos Fatores Morfométricos

6.1.1. Análise Individual dos Fatores Morfométricos

Os fatores morfométricos quando analisados separadamente demonstram a contribuição isolada de cada um deles para o entendimento da formação de inundações no município de Belo Horizonte. Essa análise é importante, pois demonstra quais os fatores que estão mais diretamente correlacionados ao processo, todavia a análise integrada é de suma importância pois o ambiente é resultado da interação complexa entre seus fatores constituintes.

6.1.1.1 Relação entre Gradientes de Canal

O índice de Relação entre os Gradientes de Canal, por ser realizado a partir da hierarquia fluvial, foi feito somente para as bacias, pois não haveria como realizar a hierarquização por áreas de contribuição, já que não se encaixam completamente na definição de subbacias.

A análise do RGC evidencia uma prevalência da formação de inundações em canais de quarta ordem (Figura 18), porque esses canais apresentam relação de menor declividade do que dos canais à montante – valor de RGC superior a 1. Essa menor declividade acarreta em mais baixa transmissibilidade hidráulica do que dos canais de montante, fazendo com que haja tendência de acúmulo de água nos mesmos. Já nos canais de segunda, terceira e quinta ordem esse fato não ocorre, pois os canais de jusante possuem maior declividade e, portanto, maior transmissibilidade hidráulica, do que os de montante, favorecendo o escoamento das águas pluviais.

Mapa de Relação entre os Gradientes dos Canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça

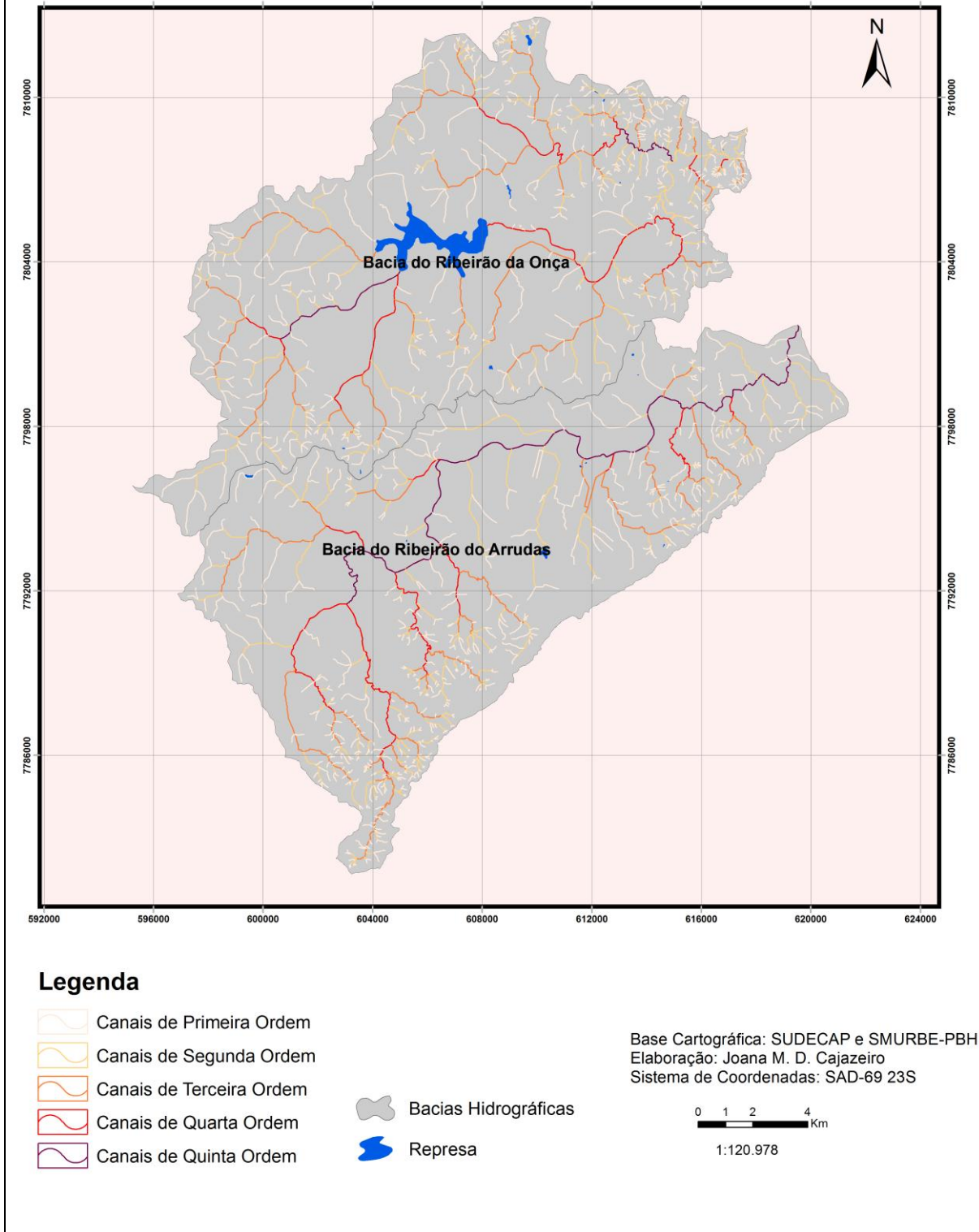


Figura 18: Mapa de Relação entre os Gradientes dos Canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça.

Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

Quando analisado esse índice com as manchas de inundação, percebe-se clara associação das manchas com os canais de quarta ordem, onde ocorre grande parte dos eventos analisados, conforme pode ser visualizado na Figura 19. Essas manchas também existem em menores proporções em canais de primeira, segunda, terceira e quinta ordem – o que não seria explicado pelo RGC.

Mapa da Relação entre os Gradientes dos canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das manchas de inundação

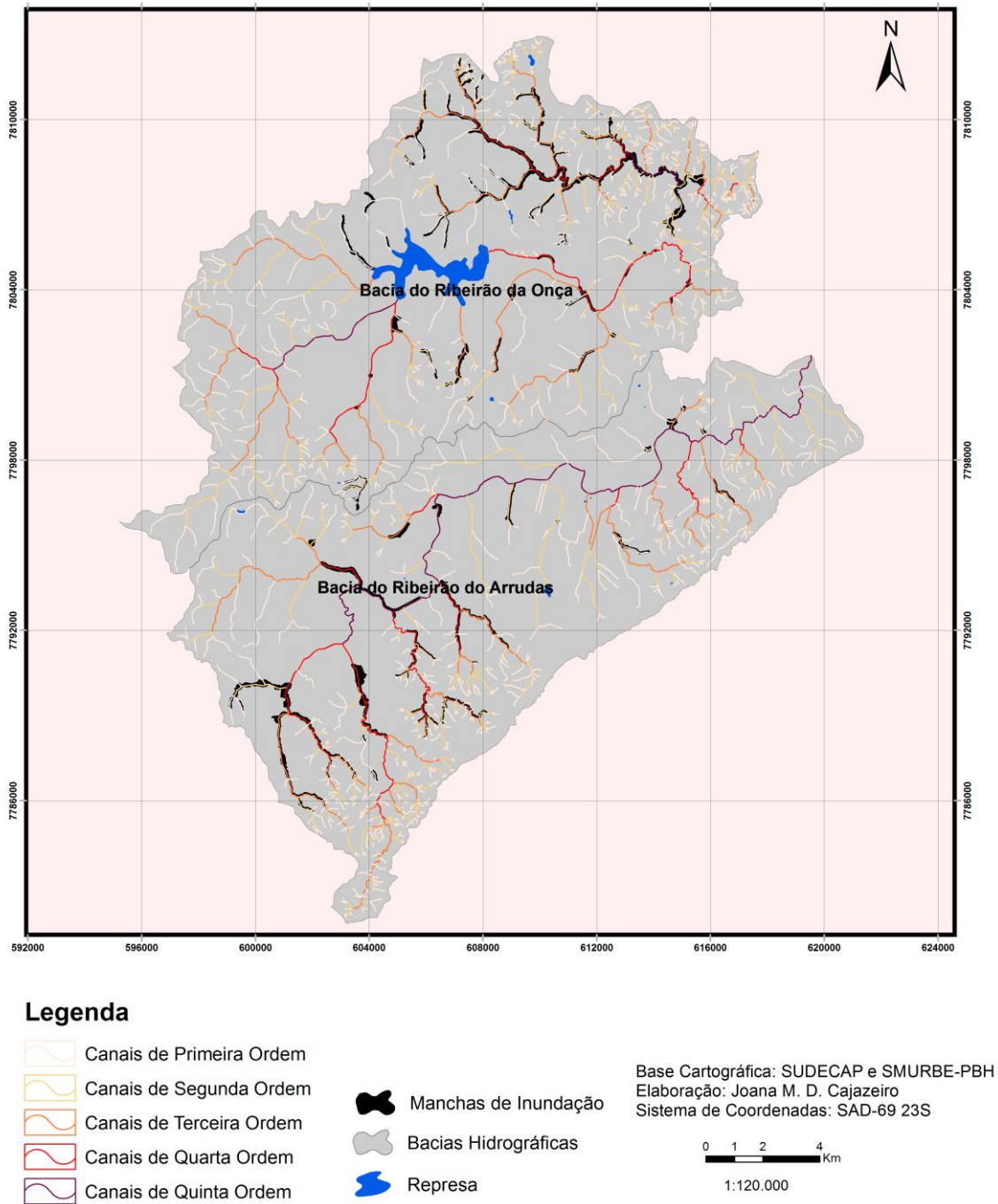


Figura 19: Mapa da Relação entre os Gradientes dos canais das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das manchas de inundação.
 Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

6.1.1.2 Índice de Circularidade

O Índice de Circularidade da Bacia do Ribeirão da Onça e da Bacia do Ribeirão Arrudas é muito semelhante. A primeira bacia apresenta o valor de I_c de 0,3402, enquanto a segunda apresenta o valor de 0,3770. Esses valores - em relação ao valor crítico de 0,51 expresso por Alves e Castro (2003) - são baixos, o que demonstra que este não é um fator de grande relevância para a formação de inundações em ambas as bacias, pois I_c menores que 0,51 seriam índices desfavoráveis a este tipo de processo.

Quando analisados os índices de circularidade das áreas de contribuição, observa-se um predomínio de I_c menores que 0,51, mas também a existência de áreas com I_c superiores a 0,51 no sul, oeste e nordeste da bacia do Ribeirão da Onça, assim como no oeste, centro e leste da Bacia do Ribeirão Arrudas. Esses locais configuram-se como prováveis áreas de maior contribuição para a formação de inundações locais e à jusante (Figura 20).

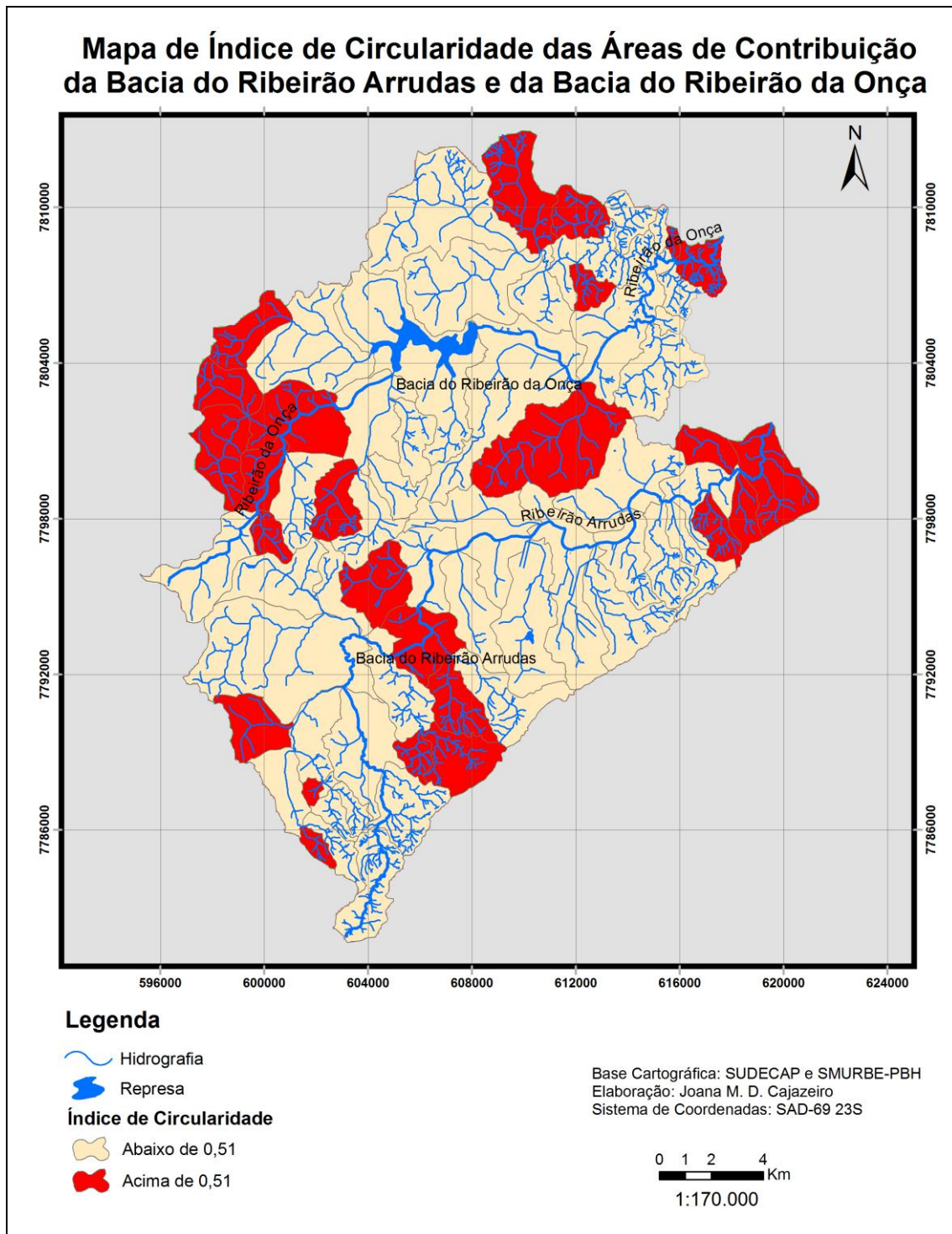


Figura 20: Mapa de Índice de Circularidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

Contraopondo-se as manchas de inundação ao índice de circularidade percebe-se que na Bacia do Ribeirão da Onça existe baixa correlação entre ambos, sendo que somente as áreas de contribuição do extremo norte da bacia possuem coincidência entre elevado I_c e

presença de processos de inundação local e à jusante. Na Bacia do Ribeirão Arrudas, por sua vez, essa correlação é mais bem delineada, com a maior parte das manchas de inundação iniciando-se em áreas de I_c superiores a 0,51 ou à jusante das mesmas (Figura 21). Sendo assim, este se mostra um parâmetro mais explicativo para a Bacia do Ribeirão Arrudas do que para a Bacia do Ribeirão da Onça.

Mapa do Índice de Circularidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação.

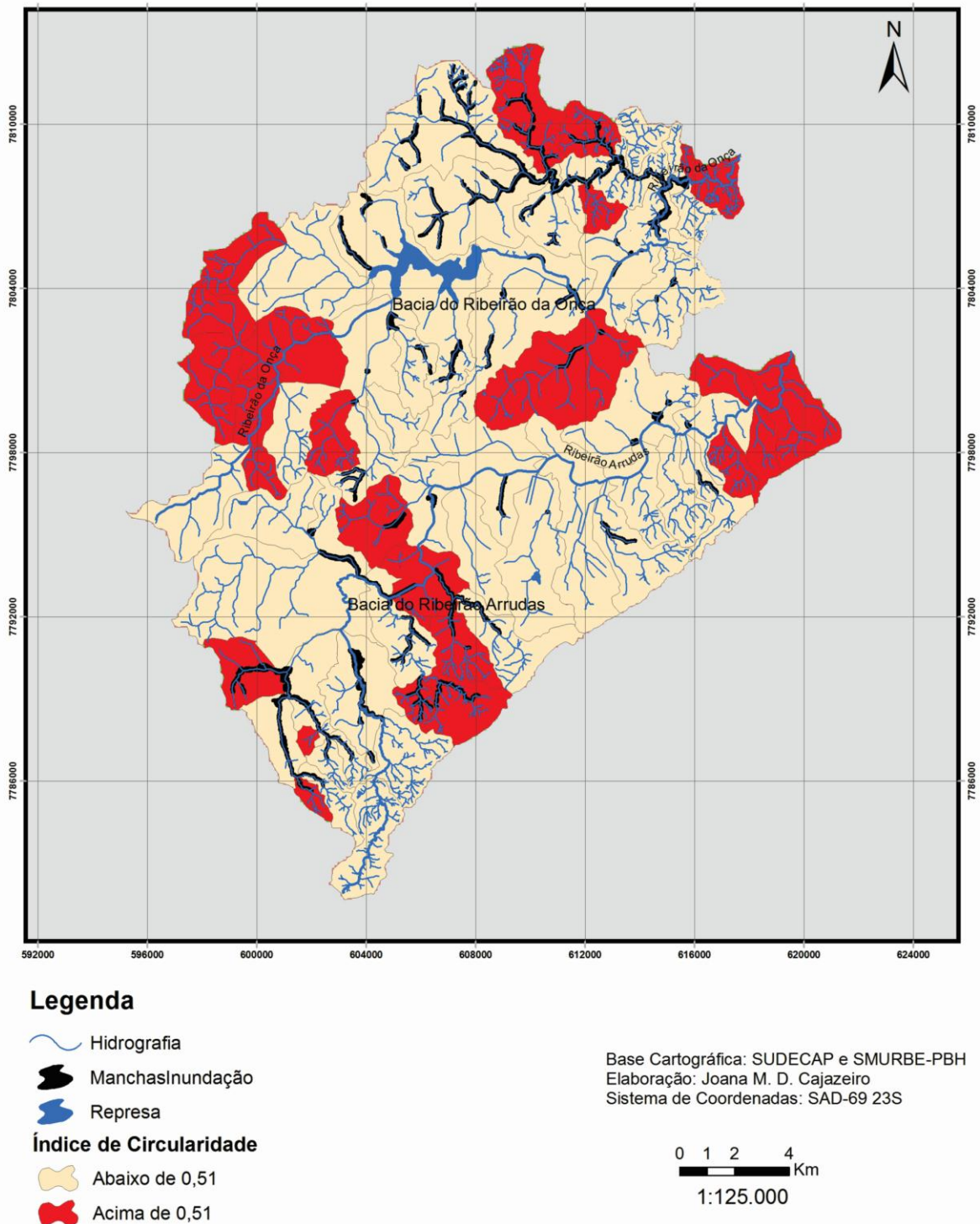


Figura 21: Mapa do Índice de Circularidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação.
 Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

6.1.1.3 Densidade de Drenagem

A Densidade de Drenagem da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão do Onça nos mostra que ambas as bacias possuem valores de Dd muito próximos, sendo a Dd da bacia do Ribeirão Arrudas um pouco superior à do Ribeirão da Onça - 1938,871 e 1806,161 respectivamente. Isso indica que a bacia do Ribeirão Arrudas apresenta litologias que acarretam em uma menor taxa de infiltração local, gerando maior comprimento total de rios.

A análise do parâmetro de densidade de drenagem para as áreas de contribuição reitera a conclusão acima, apontando áreas de mais elevada Dd somente na bacia do Ribeirão Arrudas, principalmente em sua porção centro-leste (Figura 22). A diferenciação litológica dessa bacia, em comparação com a homogeneidade da bacia do Ribeirão da Onça – totalmente recoberta por rochas e solos provenientes do Complexo Belo Horizonte – gera essa diferença.

Esses índices mais elevados localizam-se em áreas de contribuição inseridas em locais total ou parcialmente representados pelas litologias do grupo Sabará, em sua transição com o Complexo Belo Horizonte, além de áreas sobre os Grupos Cauê, Gandarela, Piracicaba.

Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

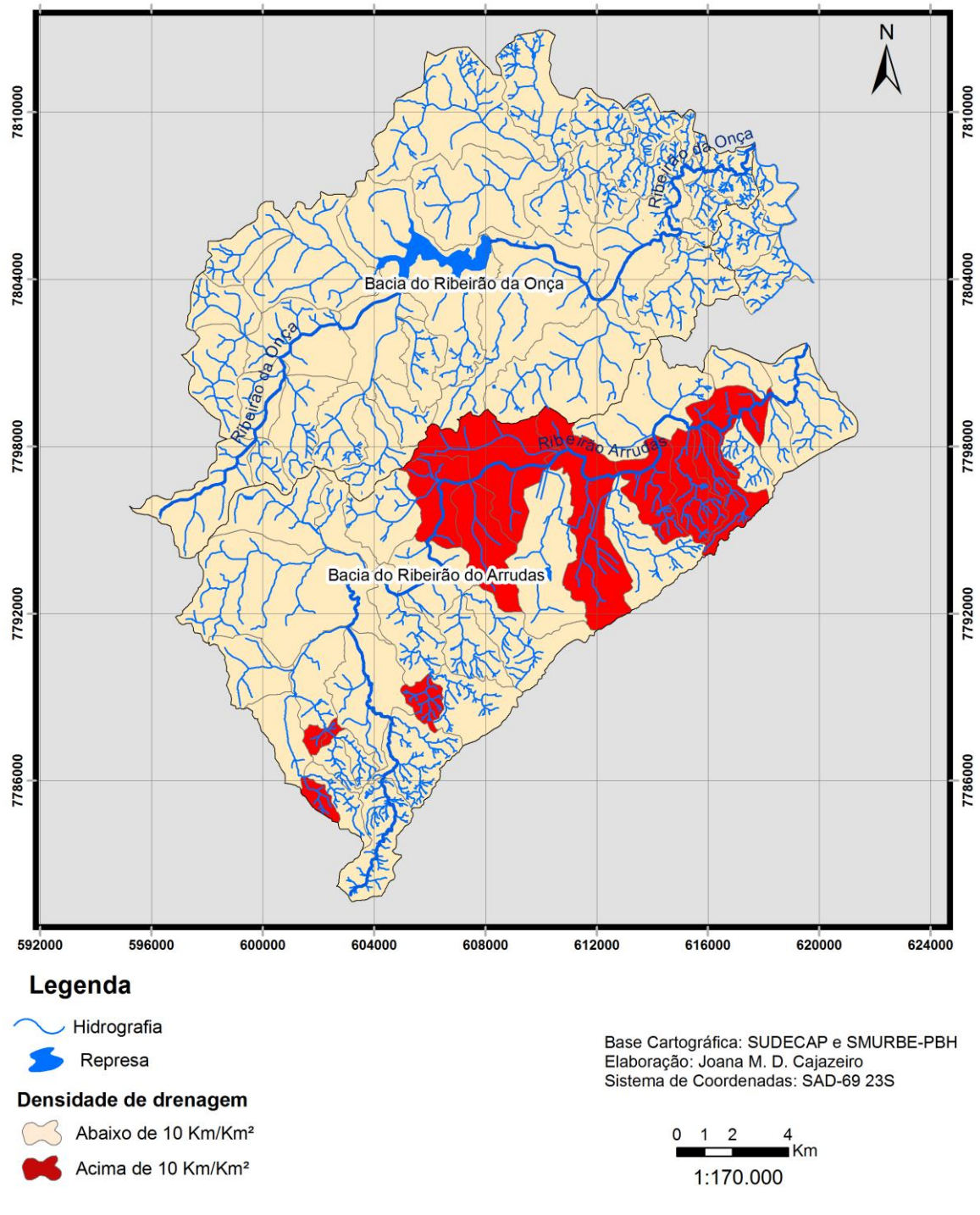
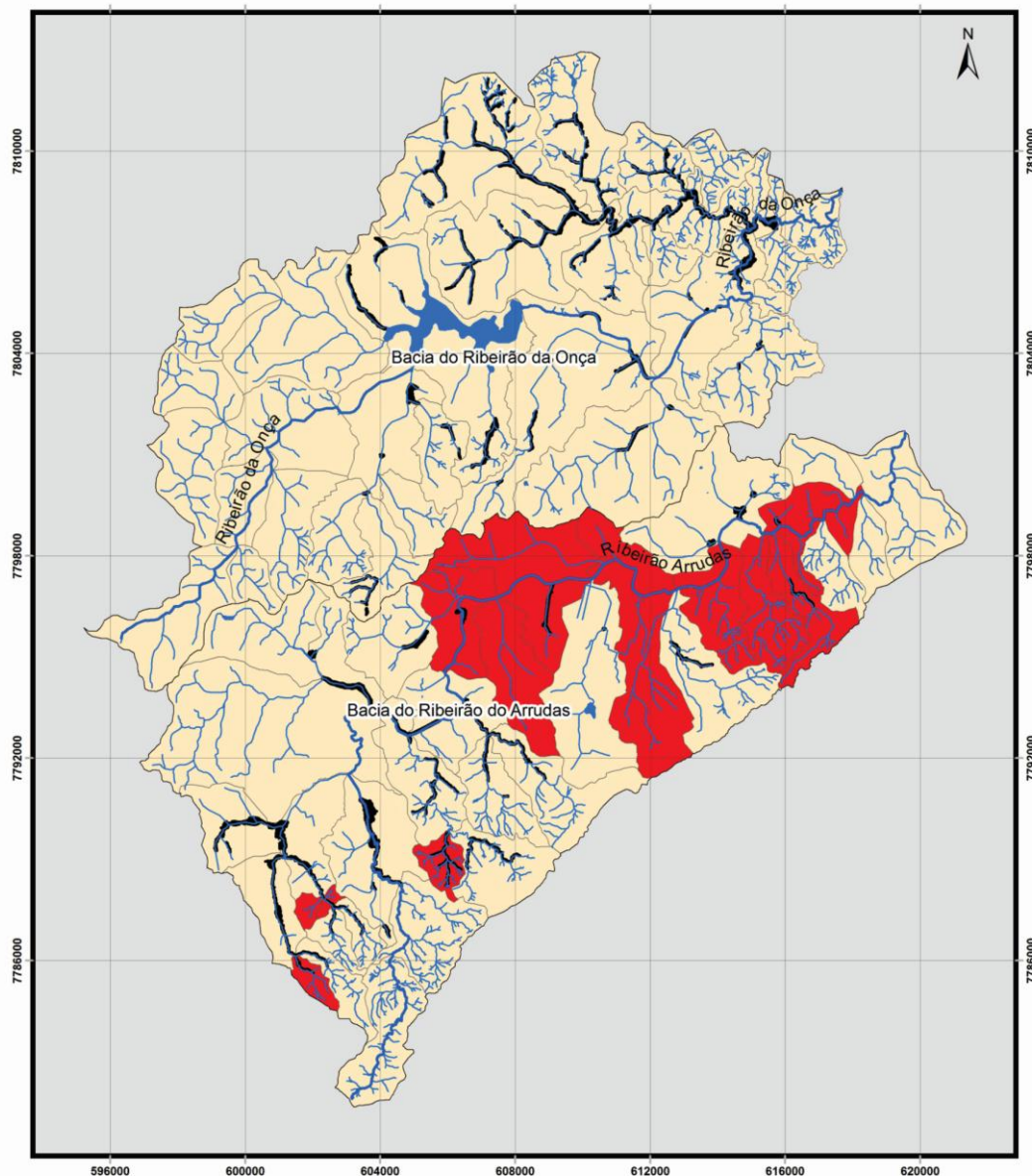


Figura 22: Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009)

A contraposição do parâmetro Densidade de Drenagem com as manchas de inundação mapeadas pela Prefeitura de Belo Horizonte mostra uma baixa correlação desse índice com a formação do processo em estudo. Isso, porque na Bacia do Ribeirão Arrudas – única que apresenta manchas de mais elevada Dd - as áreas de contribuição com essas características que estão relacionadas com manchas de inundação mais extensas são poucas e de área pequena, conforme pode ser visualizado na Figura 23. Ademais, na Bacia do Ribeirão da Onça todas as áreas de contribuição possuem baixos valores de Dd, o que não se refletiu em menos áreas de inundação.

Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação



Legenda

- Hidrografia
- Represa
- Manchas de Inundação
- Densidade de drenagem**
- Abaixo de 10 Km/Km²
- Acima de 10 Km/Km²

Base Cartográfica: SUDECAP e SMURBE-PBH
 Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro
 Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

0 1 2 4
 Km
 1:120.000

Figura 23: Mapa de Densidade de Drenagem das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação

Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

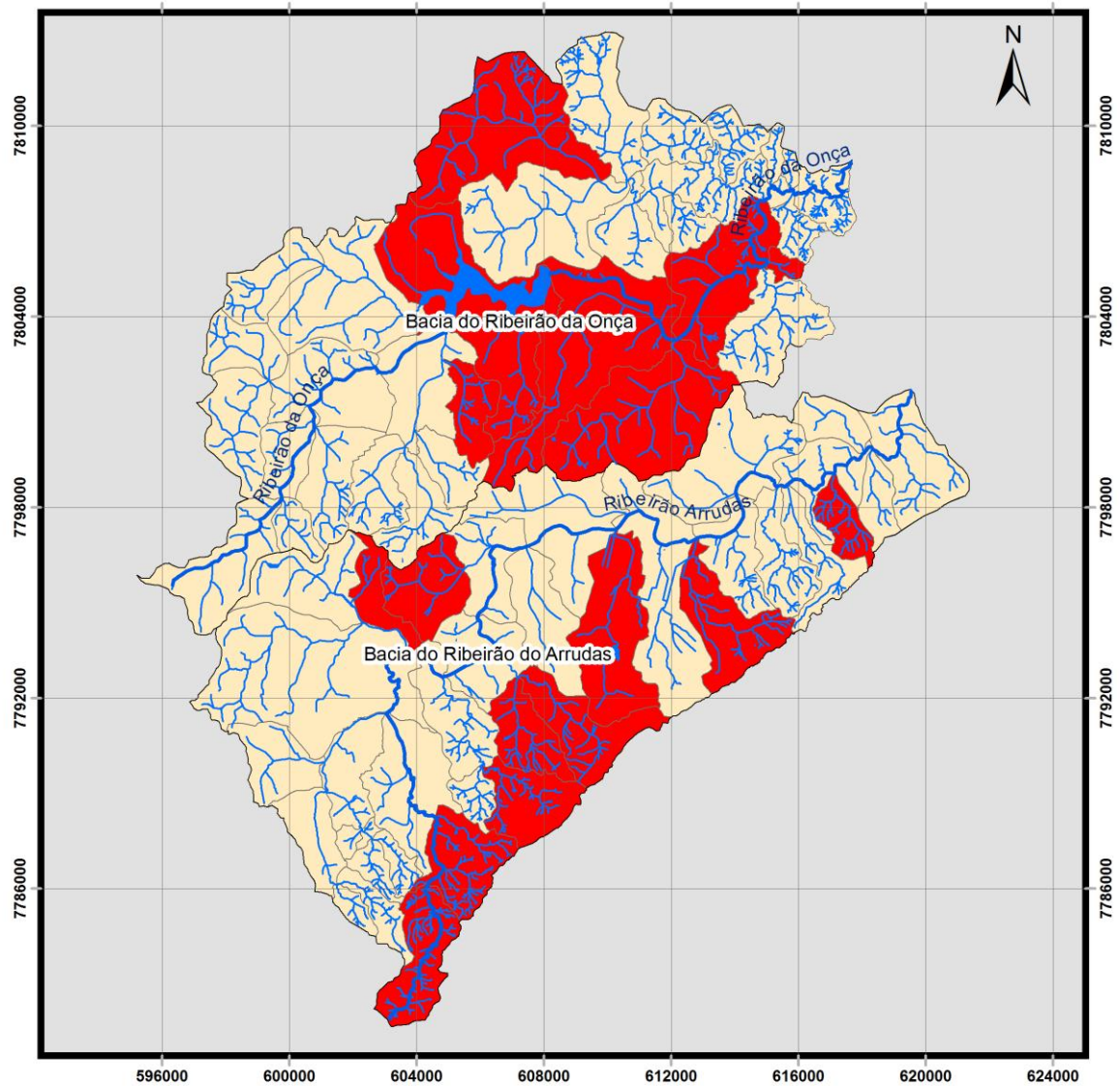
6.1.1.4 Índice de Rugosidade

O índice de rugosidade, por sua vez, apresenta-se diferenciado entre as bacias estudadas, sendo bem inferior na Bacia do Ribeirão da Onça - cujo valor é de 18,824 - do que na Bacia do Ribeirão Arrudas - com Ir de 41,776 . Desse modo, a Bacia do Ribeirão Arrudas se comporta como uma bacia de mais alta energia dos fluxos e mais elevada transmissibilidade hidráulica do que a Bacia do Ribeirão da Onça. Assim sendo, esta última, possuindo mesma vazão superficial, possui menor capacidade em transmitir o fluxo, que tende, portanto, a se acumular.

Quando se realiza a análise para as áreas de contribuição, percebe-se que ambas as bacias apresentam significativas áreas de contribuição com características de elevada transmissibilidade hidráulica e alta energia de fluxo (Figura 24). E o problema de inundação tenderia a ser mais grave nas áreas de contribuição de baixo Ir à jusante das de elevado Ir, pois as mesmas não conseguiriam dar vazão ao fluxo de água, que tenderia a acumular-se.

Salienta-se que na Bacia do Ribeirão da Onça os valores máximos de Ir são menores que os da bacia do Ribeirão Arrudas, sendo essa a causa da acentuação do índice nessa última quando analisado por bacia hidrográfica.

Mapa de Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça



Legenda

Hidrografia

Represa

Índice de Rugosidade

Abaixo de 61

Acima de 61

Base Cartográfica: SUDECAP e SMURBE-PBH

Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro

Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

0 1 2 4
Km

1:170.000

Figura 24: Mapa do Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

A análise do Ir em relação às manchas de inundação da Prefeitura mostra que este é um parâmetro bastante explicativo do processo. Isso, pois praticamente todas as manchas de inundação tanto da Bacia do Ribeirão Arrudas, quanto da Bacia do Ribeirão da Onça encontram-se à jusante de áreas de elevado Ir (Figura 25). Desse modo, o relevo se configura como um fator determinante para a formação dos processos de inundação na capital mineira, que devem ser gerados pela concentração de um grande volume de água que passa a ser escoado com alta energia nas áreas de alto Ir, mas que é retido nas áreas de baixo Ir, gerando acúmulo de água nessas áreas à jusante.

Mapa do Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação

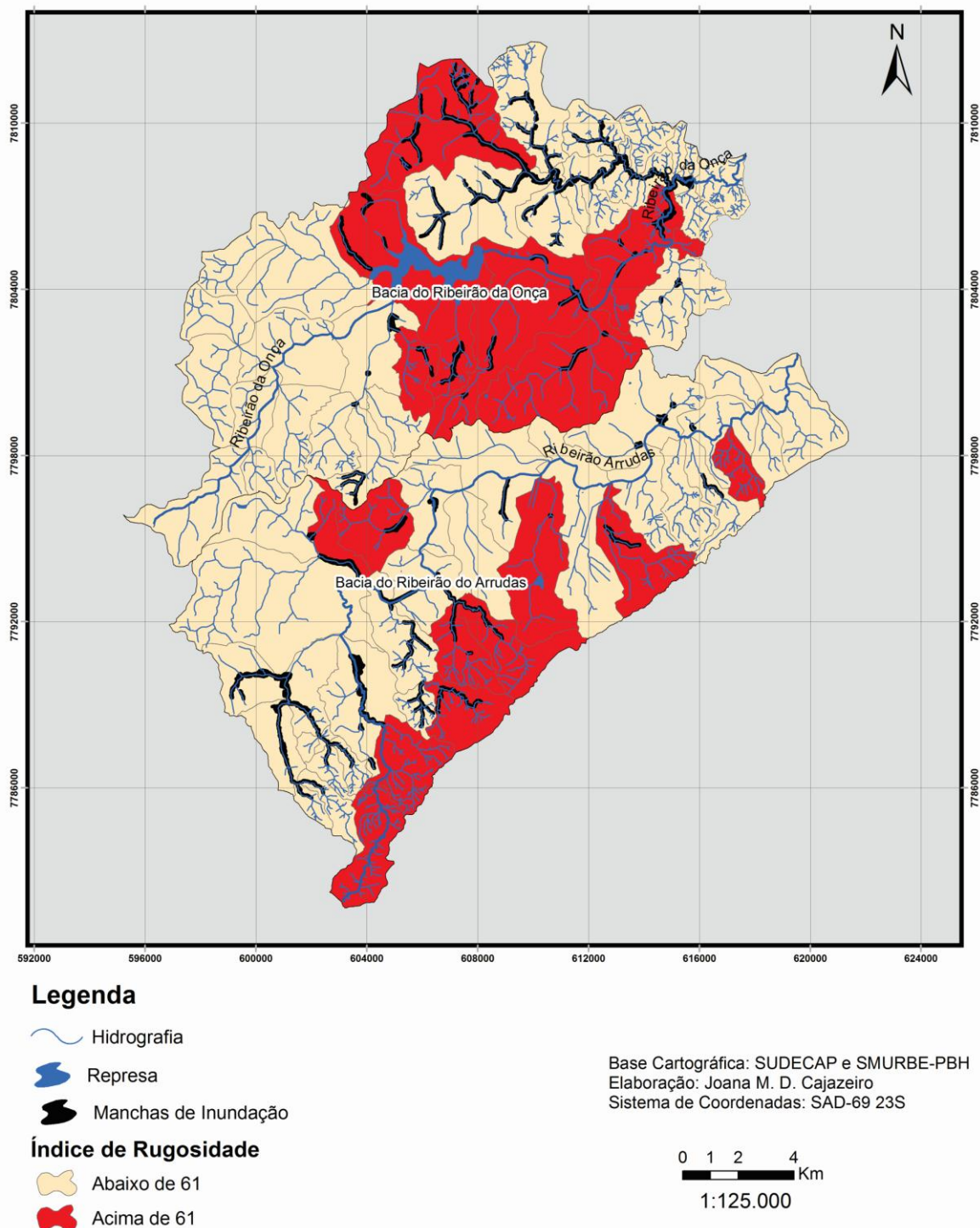


Figura 25: Mapa do Índice de Rugosidade das Áreas de Contribuição da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das Manchas de Inundação.

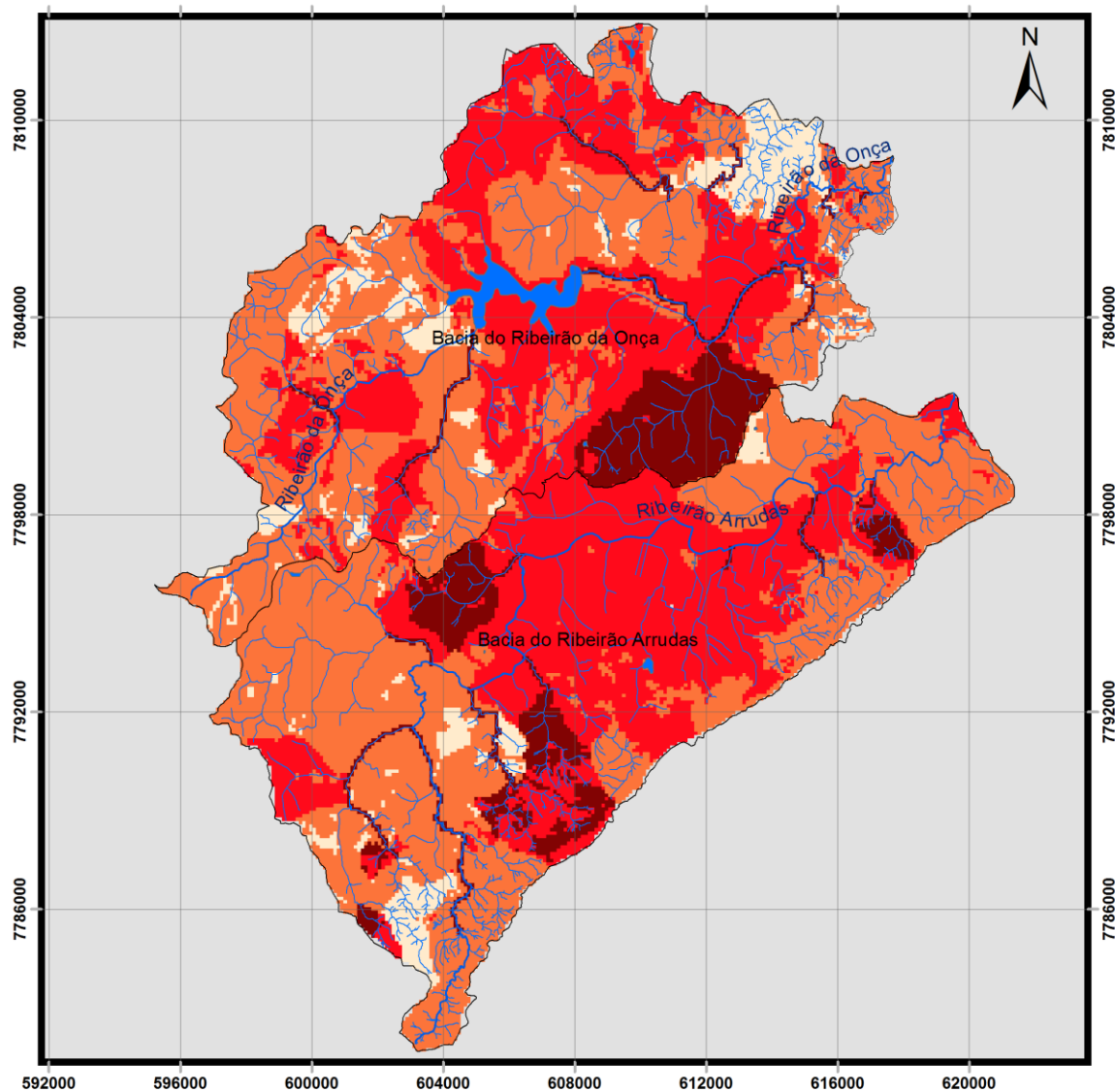
Fonte: SUDECAP, SMURBE-PBH (2009).

6.1.2. Análise Integrada dos Fatores Morfométricos

A análise integrada dos fatores morfométricos analisados permite compreender o poder explicativo dos mesmos quando em interação uns com os outros. Dessa forma, ocorre uma aproximação da análise do que ocorre na realidade, onde um fator influencia o outro. Assim sendo, esse tipo de estudo permite verificar – dentro do âmbito de abrangência dos parâmetros analisados – a contribuição de fatores físicos morfológicos na explicação da formação de inundações na capital mineira.

O mapa da Figura 26 indica um predomínio de áreas de média susceptibilidade a inundação em ambas as bacias estudadas. Áreas de baixa susceptibilidade também são comuns, havendo uma minoria de áreas de alta susceptibilidade. A presença dessas últimas ocorre principalmente a sudeste da Bacia do Ribeirão da Onça, além de marcarem segmentos de alguns cursos d'água, e a sudoeste e nordeste da Bacia do Ribeirão Arrudas, também ocorrendo em partes de alguns canais fluviais.

Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão da Onça e Ribeirão Arrudas



Legenda

Hidrografia

Susceptibilidade a inundação

- Muito Alta
- Alta
- Média
- Baixa

Base Cartográfica: SUDECAP e SMURBE-PBH
Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro
Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

0 1 2 4
 Km
1:170.000

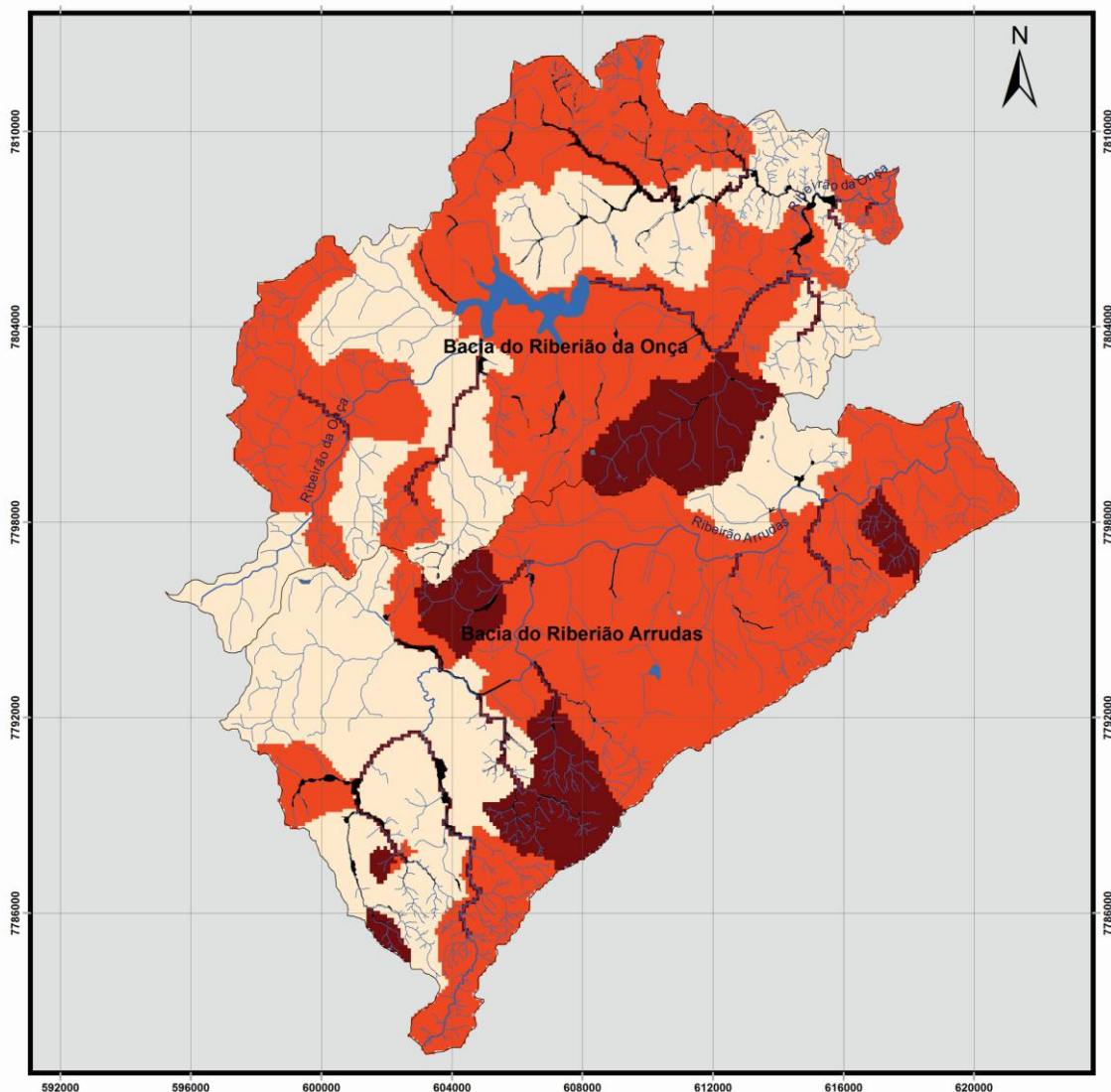
Figura 26: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça

Fonte: Outros mapas elaborados neste estudo

Quando este mapa é analisado de forma comparativa com as manchas de inundação percebe-se alta correlação entre essas e as altas susceptibilidades existentes ao longo de cursos fluviais e às manchas de média susceptibilidade, conforme pode ser visualizado no mapa da Figura 27. As áreas de contribuição de alta susceptibilidade, no entanto, não apresentam boa correlação com as manchas de inundação, existindo poucas nestes locais e à jusante. Salienta-se que não são observadas áreas de baixa susceptibilidade com presença significativa de manchas de inundação.

A partir disso, observa-se que a susceptibilidade às inundações possui boa correlação com o quadro físico, principalmente as manchas localizadas ao longo de cursos fluviais. Assim sendo, este não é um fator que pode ser descartado na análise de formação desse tipo de processo na capital mineira, devendo receber atenção dos órgãos competentes para que medidas eficazes sejam tomadas em consonância com os aspectos físicos locais.

Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das Manchas de Inundação



Legenda

- Hidrografia
- Represa
- Manchas de Inundação

Susceptibilidade a inundação

- Alta
- Média
- Baixa

Base Cartográfica: SUDECAP e SMURBE-PBH
Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro
Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

0 1 2 4 Km
1:120.000

Figura 27: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça com inclusão das manchas de inundação

Fonte: Outros mapas elaborados neste estudo

6.2. Análise da Impermeabilização do solo

6.2.1. Análise Individual da Impermeabilização do Solo

O Mapa de Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça demonstra uma grande ocorrência de manchas de inundação no norte da bacia do Ribeirão da Onça, local em que ainda ocorre uma significativa concentração de áreas permeáveis na região (Figura 28). Essas manchas de inundação aparecem de forma praticamente contínuas, iniciando-se em áreas impermeáveis e menos declivosas e se prolongando para áreas permeáveis e mais declivosas (Figuras 10 e 11), o que indica que o processo é mais explicado pela impermeabilização do solo, gerando alta contribuição do volume formado em montante, do que pelo relevo, que desfavoreceria a formação do processo pela existência de áreas de mais elevada transmissibilidade hidráulica em jusante.

Na Bacia do Ribeirão Arrudas, entretanto, nota-se um padrão diferente. As manchas de inundação situam-se quase totalmente em áreas de alto índice de impermeabilização e à jusante de áreas permeáveis de significativa extensão. Nesse caso, torna-se visível a significativa influência do relevo local, muito íngreme, que favorece o escoamento mesmo em áreas vegetadas (Figuras 10 e 11). Sendo assim, um grande fluxo de água se concentra à montante e segue em direção a uma área que, devido ao fato de estar impermeabilizada, não favorece a infiltração, agravando as características locais de susceptibilidade.

As manchas de inundação iniciam-se na Bacia do Ribeirão da Onça no médio curso e se concentram no baixo curso nos afluentes de margem esquerda, onde prevalecem maiores declividades. Na bacia do Ribeirão Arrudas, por sua vez, as manchas de inundação apresentam-se descontínuas e dispersas no baixo e médio curso e se concentram no alto curso, à jusante da Serra do Curral, em áreas escarpadas e de litologias com permeabilidades variadas (Figura 10 e 9)³.

³ Silva *et al.* (1995) concluíram que itabiritos e dolomitos do Grupo Cauê; itabiritos, dolomitos e fillitos do Gandarela e quartzitos do Piracicaba são permeáveis, enquanto os filitos e xistos do Grupo Piracicaba são impermeáveis. Maiores concentrações de rochas impermeáveis associam-se principalmente ao Complexo Sabará (xistos e metagrauvas).

Mapa das Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça

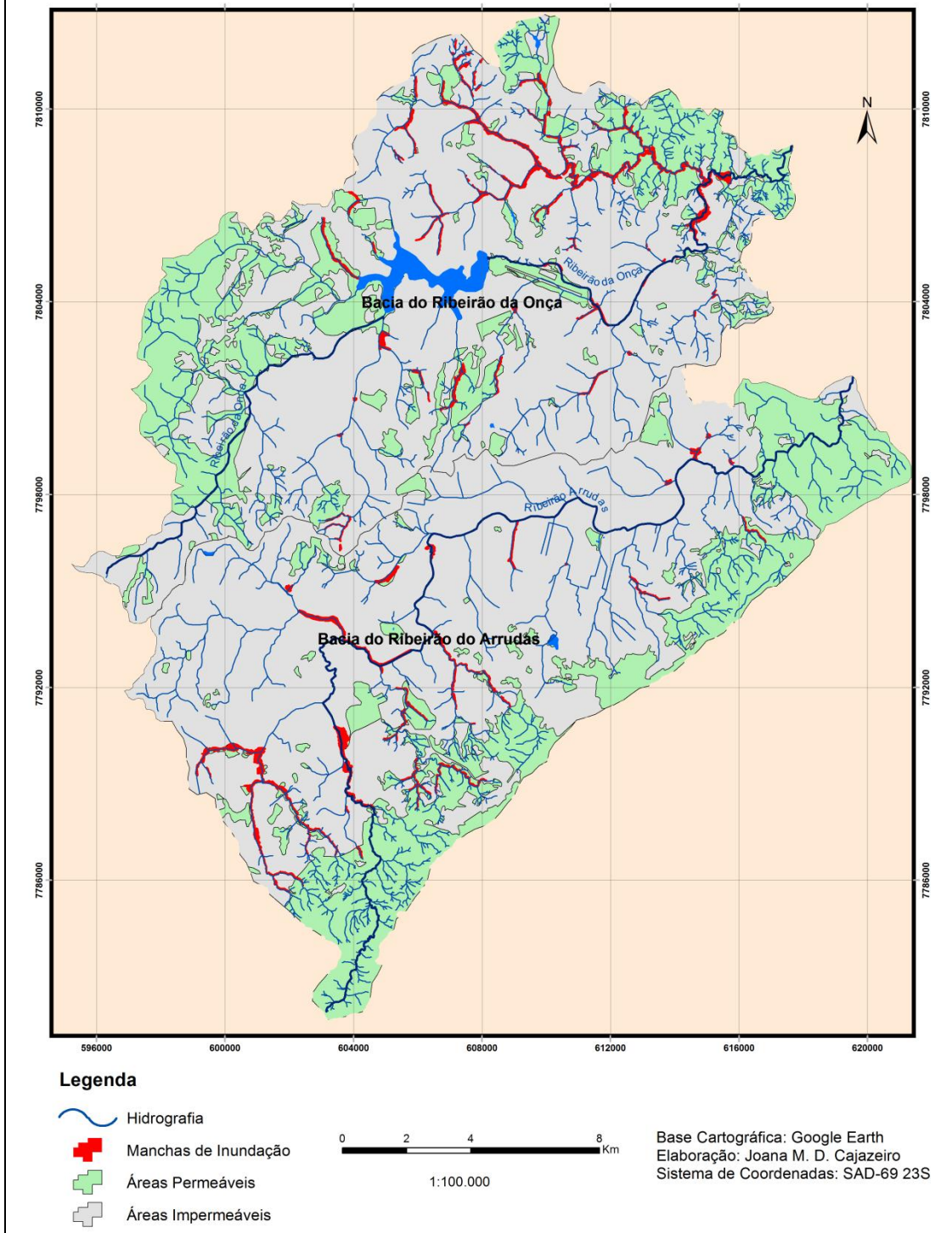


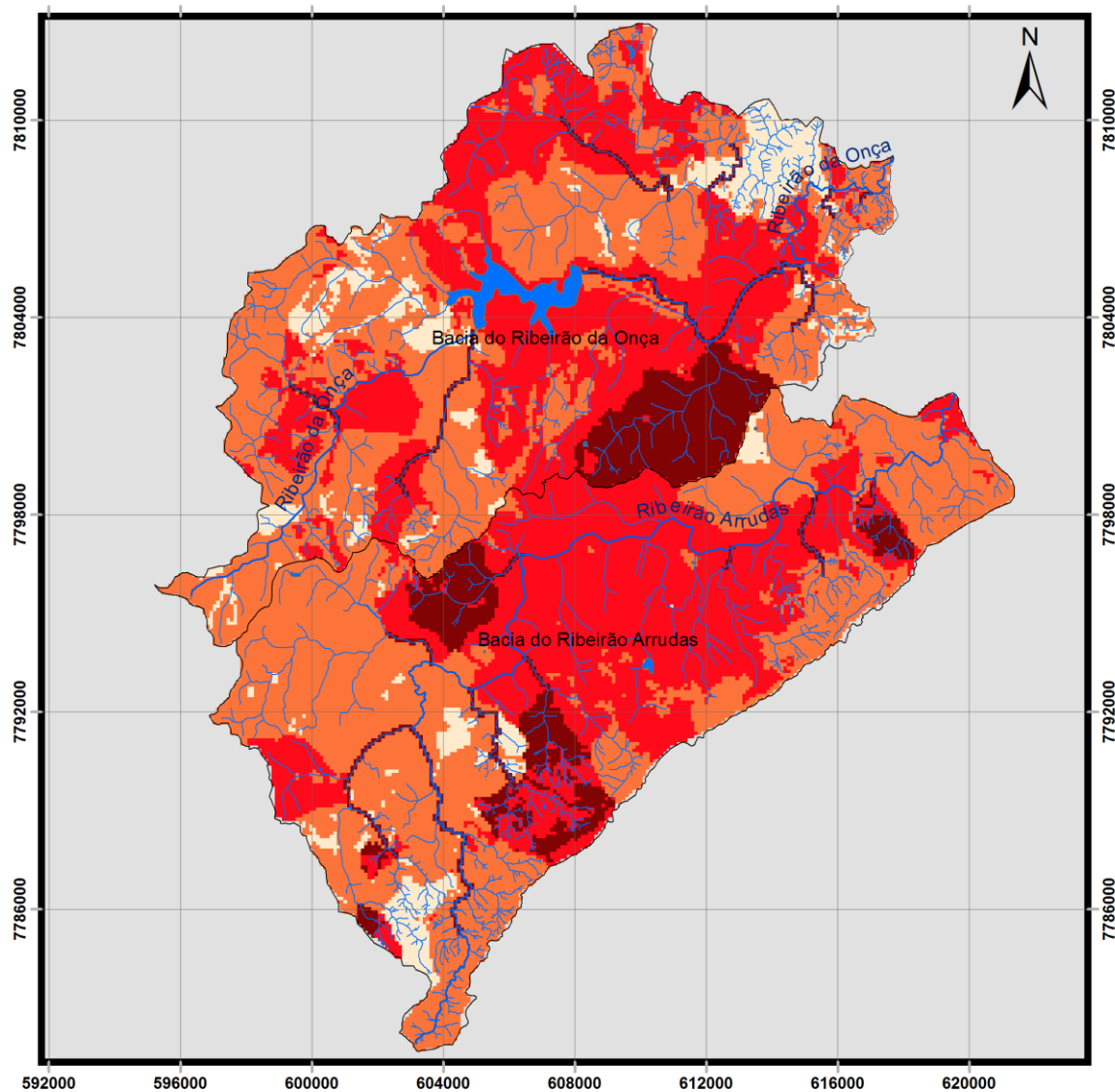
Figura 28: Mapa das Áreas Permeáveis e Impermeáveis da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça.

Fonte: Google Earth.

6.2.2. Análise Integrada da Impermeabilização do Solo e Morfometria

A análise integrada dos fatores morfométricos juntamente com a presença ou não de impermeabilização do solo resultou no mapa da Figura 29, que indica o predomínio de áreas de média e alta susceptibilidade, seguido de muito alta susceptibilidade e poucas áreas em que essa é baixa. É possível perceber o agravamento da susceptibilidade em médio e baixo curso de ambas as bacias. Na Bacia do Ribeirão da Onça existe uma pequena mancha de muito alta susceptibilidade concentrada no sul da bacia e algumas ao longo de cursos fluviais. Na Bacia do Ribeirão Arrudas, por sua vez, essas áreas encontram-se mais dispersas, podendo ser visualizadas em alto, médio e baixo curso fluvial.

Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão da Onça e Ribeirão Arrudas



Legenda

Hidrografia

Susceptibilidade a inundação

Muito Alta
 Alta
 Média
 Baixa

Base Cartográfica: SUDECAP e SMURBE-PBH
Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro
Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

0 1 2 4
 Km
1:170.000

Figura 29: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça.

Fonte: Outros mapas elaborados neste estudo

Quando a este mapa são adicionadas as manchas de inundação, conforme pode ser visualizado na Figura 30, percebe-se uma coincidência dessas com as áreas de alta e muito alta susceptibilidade, havendo poucas manchas em áreas de média e baixa susceptibilidade. Desse modo, percebe-se que ao adicionar o fator antrópico de impermeabilização do solo às análises físicas realizadas anteriormente, houve um maior nível de associação das manchas de inundação às susceptibilidades encontradas.

Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão da Onça e do Ribeirão Arrudas com inclusão das Manchas de Inundação

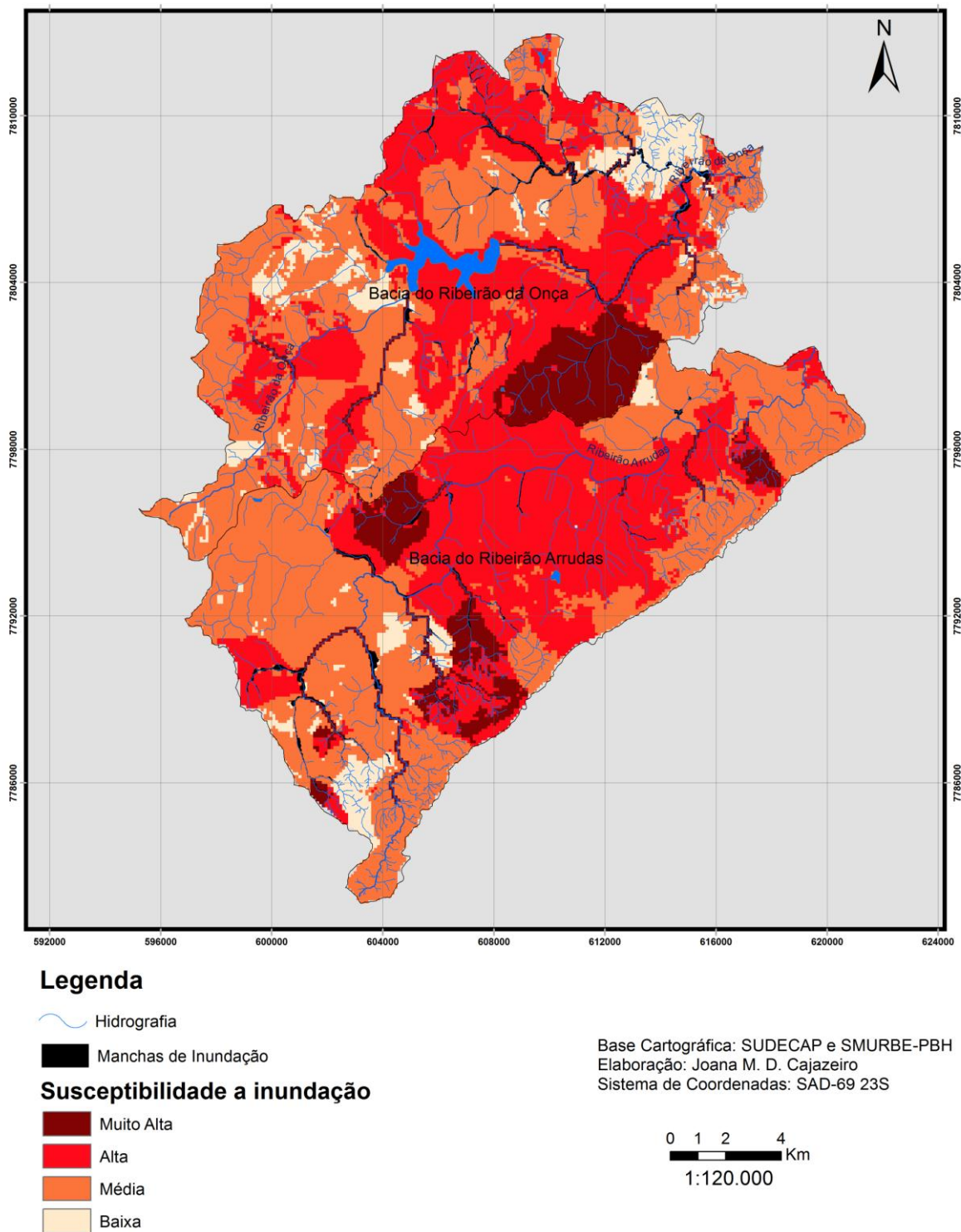
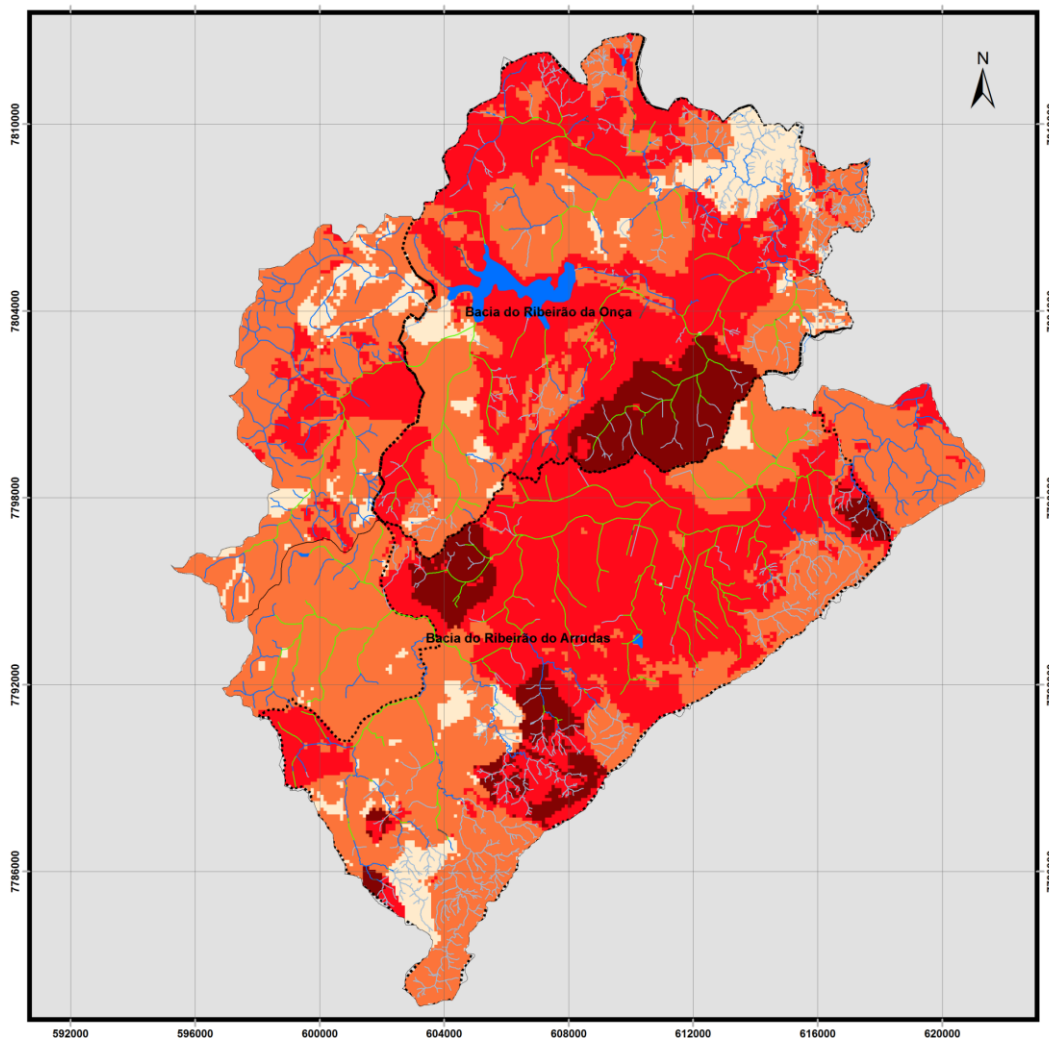


Figura 30: Mapa de Susceptibilidade a Inundações conforme a Morfometria e a Impermeabilização do solo das Bacias do Ribeirão da Onça e do Ribeirão Arrudas com inclusão das Manchas de Inundação.
Fonte: Outros mapas elaborados neste estudo

6.3 Análise do Resultado de Obras de Canalização de Cursos Fluviais em Belo Horizonte

Como se pode perceber pelo mapa da Figura 31 a maior parte das canalizações de cursos fluviais foi executada no município de Belo Horizonte em áreas coincidentes com altas e muito altas susceptibilidade a inundações, o que indica que o cruzamento gerou resultados compatíveis com a realidade dos locais com maiores problemas históricos e que, portanto, necessitaram de intervenções. Portanto, os fenômenos de inundação nas Bacias do Ribeirão Arrudas e do Onça decorrem da interação das características naturais locais com as modificações antrópicas em nível de impermeabilização do solo.

Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça sobre mapa de Susceptibilidade à inundações gerada pela Morfometria e Impermealização do Solo.

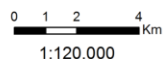


Legenda

- Curso d'água em leito natural
- Curso d'água canalizado
- Curso não cadastrado
- Represa
- Limite Bacias Hidrográficas

Susceptibilidade a Inundações

- Muito Alta
- Alta
- Média
- Baixa



Base Cartográfica: Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000) e SUDECAP e SMURBE – PBH (2009) e outros mapas realizados nesse estudo
 Elaboração: Joana M. D. Cajazeiro
 Sistema de Coordenadas: SAD-69 23S

Figura 31: Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça sobre mapa de Susceptibilidade à inundações conforme a Morfometria e Impermealização do Solo.

Fonte: Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000) e SUDECAP e SMURBE – PBH (2009) e Outros mapas realizados nesse estudo

Cabe salientar que nas áreas urbanas são comuns os processos de artificialização dos canais fluviais, podendo acarretar no agravamento dos fenômenos das inundações. Nas grandes cidades brasileiras a retificação e a canalização de cursos d'água são medidas frequentemente implementadas pelo poder público na busca de se minimizar ou solucionar os impactos das inundações. Porém, estas medidas podem agravar o problema, já que levam à diminuição do tempo de concentração das águas, ao aumento do volume hídrico que atinge os cursos d'água como resultado das elevadas taxas de impermeabilização, e à drástica redução de trocas hídricas entre os leitos fluviais e as margens, processos esses que tendem a dissipar parte dos volumes escoados nas calhas. Somando-se a isso, as vias de circulação tornam-se eixos locais de escoamento concentrado das águas, adquirindo grande velocidade pelos poucos obstáculos que encontram e grande volume que adquirem, fruto do ineficiente sistema de drenagem urbana existente em grande parte das cidades.

Nas duas bacias estudadas percebe-se que a canalização de cursos fluviais não foi um procedimento que resolveu os problemas de inundação de Belo Horizonte onde foram implantadas as obras. As manchas de inundação existentes ao norte da Bacia do Ribeirão da Onça iniciam-se em cursos de água canalizados, sejam eles fechados ou abertos, e o fenômeno de inundação se prolonga à jusante para canais em leito natural (Figura 32). E no Ribeirão Arrudas os fenômenos de inundação iniciam-se e prolongam-se em rios tanto em leito natural como em leito canalizado.

Isso indica que esse tipo de obra não tem gerado o efeito esperado e que as políticas públicas voltadas à drenagem urbana devem contemplar, de modo integrado, as características físicas e o quadro humano-urbano das bacias. As intervenções físicas nas bacias devem estar inseridas em processos de gestão e planejamento que envolvam a elaboração de documentos planejadores. Neste processo devem estar contemplados a manutenção da rede de captação pluvial e o gerenciamento de todo o sistema de contenção/prevenção de inundações de modo continuado.

Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das manchas de inundação

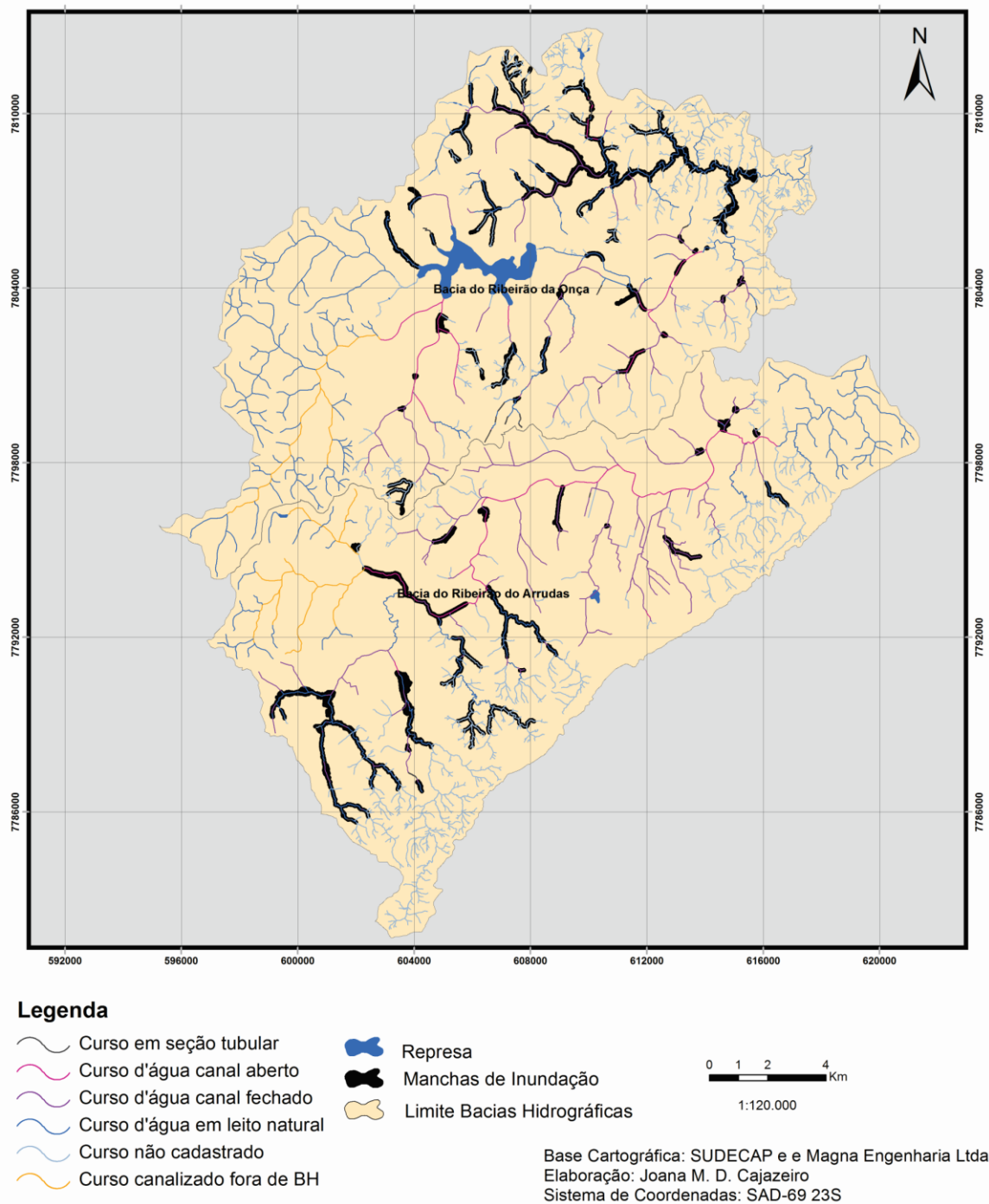


Figura 32: Mapa de Classificação da Rede Hidrográfica da Bacia do Ribeirão Arrudas e da Bacia do Ribeirão da Onça com inclusão das manchas de inundação.

Fonte: Magna Engenharia Ltda e SUDECAP - PDDBH (2000) e SUDECAP e SMURBE – PBH (2009)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As inundações em Belo Horizonte resultam de uma complexa interação entre diversos fatores de ordem física e antrópica. Os resultados obtidos pelo cruzamento dos parâmetros morfométricos já indicou uma boa aproximação da realidade das manchas de inundação das Bacias do Ribeirão Arrudas e da Onça. No entanto, quando cruzadas com as áreas permeáveis e impermeáveis, o resultado obtido mostrou-se ainda mais fidedigno e relacionou-se bem, inclusive, com as obras de canalização já executadas na bacia, que poderiam indicar locais de manchas de inundação não mais existentes e até gerar um direcionamento dessas manchas para jusante, devido aos efeitos gerados pela canalização fluvial.

Observa-se que em todos os cruzamentos existe uma grande mancha de alta susceptibilidade a inundações a sul da Bacia do Ribeirão da Onça, próximo da Cristiano Machado, onde comumente ocorrem problemas com inundação. Isso indica que as manchas de alta susceptibilidade encontradas não somente indicam uma propensão local à formação desses fenômenos, como uma influência a geração dos mesmos nos arredores. Isso, pois essa área de alta susceptibilidade foi encontrada em todos os mapas, mas os problemas maiores com inundação são sentidos à jusante da mesma, na Avenida em questão.

Desse modo, é importante ressaltar os resultados encontrados não podem servir como parâmetros únicos para estudos de susceptibilidade, visto que esses podem ser descaracterizadas por intervenções antrópicas locais, à montante e (ou) à jusante, gerando não coincidência dos fenômenos com eles. Ademais, uma área de alta susceptibilidade pode ter seus efeitos sentidos à jusante ou até a montante, por algum tipo de contribuição remontante, que seria importante de ser verificado em outros estudos.

Desse modo, o controle das inundações urbanas não deve passar apenas pelo conhecimento do quadro físico, mas sim pelo planejamento e gerenciamento adequado do espaço urbano, resultante de políticas públicas que contemplem a relação entre prevenção, precaução e intervenção nas bacias hidrográficas. Em uma mancha urbana com dinamismo constante e pressões de crescimento, é preciso que medidas sejam tomadas para a regulação deste processo de expansão, privilegiando-se a implementação monitorada de ações que minimizem as conseqüências das inundações.

Em consonância com essa perspectiva, a Prefeitura de Belo Horizonte (PBH), através da criação do Programa de Recuperação Ambiental de Belo Horizonte - DRENURBS, se mostra preocupada não somente com a redução dos riscos de inundações mas também com a recuperação de toda a bacia. De forma inovadora, o DRENURBS abandonou a então prática de canalizações e trouxe a proposta de integração dos recursos hídricos em leito natural na paisagem urbana, almejando a revitalização desses recursos e a melhoria da qualidade de vida das comunidades no entorno.

Este estudo pode servir para embasamento de novas medidas de prevenção/contenção de enchentes, bem como para o melhor entendimento do processo de inundação que ocorre no município. Planejamento e prevenção são medidas eficazes e que evitam gastos excessivos com correções de problemas que poderiam ser evitados. No entanto, ressalta-se a necessidade de estudos pormenorizados, principalmente nas áreas de alta e muito alta susceptibilidade, para que os fenômenos nesses locais sejam melhor conhecidos e para conferência na prática dos resultados encontrados nos mapeamentos.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abreu, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. *Revista Geonomos*. Belo Horizonte, v. 6, n. 2, 1998.

Abreu, M.L.; Moreira, A. A. M.; Lucio, P. S. e Toscano, E. M. M. Comportamento Temporal de Séries Climáticas. . Parte I: Climatologia de Belo Horizonte – MG (Brasil). *Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia*. Brasília, 1998

Alves, J. M. P. e Castro, P. T. A. Influência das feições geológicas na morfologia da bacia do rio do Tanque (MG) baseada no estudo de parâmetros morfométricos e análise de padrões de lineamentos. *Revista Brasileira de Geociências*. São Paulo, v. 33, n. 2, p. 117-124, 2003.

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

Ashley, R.M.. Building Knowledge for a Climate Change. *The impacts of climate change on the built environment*. Research Agenda. EPSRC. 2003

Baumgratz, S. S. O planejamento urbano de Belo Horizonte e seus problemas geomorfológicos. *Geografia*, Belo Horizonte, v. 13, n. 25, p. 117-131, 1988

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.

BH Metas e Resultados. Disponível em: <http://www.bhmetasresultados.com.br/veja-mais/Cidade%20Sustentavel>. Acesso em 23/10/11

Carvalho, C. S.; Macedo, E. S. e Ogura, A. T. (Organizadores). *Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios*. Brasília, Ministério das Cidades, Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 176 pp, 2007

Castro, S.B. e Carvalho, T.M. Análise morfométrica e geomorfologia da bacia hidrográfica do rio Turvo - GO, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. *Scientia Plena*, v. 5, n. 2, 2009. www.scientiaplenu.org.br. Acesso em 10/04/2011.

Cherem, L. F. S. *Análise Morfométrica da Bacia do Alto Rio das Velhas – MG.* Dissertação de Mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais – Universidade Federal de Minas Gerais, 2008

Christofoletti, A. *Análise morfométrica das bacias hidrográficas do Planalto de Poços de Caldas.* Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia, Universidade Estadual de São Paulo, Rio Claro, 1970.

Christofoletti, A. *Geomorfologia.* 2ª edição, São Paulo, Editora Edgard Blucher, 1980

Christofoletti, A. *Modelagem de sistemas ambientais.* São Paulo, Editora Edgard Blücher, 1999.

Cordeiro, J. P.; Barbosa, C. C.; Câmara, G. Álgebra de campos e objetos. In: Druck, S.; Carvalho, M. S.; Câmara, G.; Monteiro, A. M. (Eds.), *Análise Espacial de Dados Geográficos.* Brasília: Embrapa. 2004

CPRM. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/> Acesso em 03/08/10

CRED CRUNCH issue nº25, september 2011. Disponível em: <http://www.cred.be/sites/default/files/CredCrunch25.pdf> Acesso: 02/11/11

Cristo, S.S.V. *Análise de susceptibilidade a riscos naturais relacionados à enchentes e deslizamentos do setor leste da Bacia Hidrográfica do Rio Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina.* Dissertação de Mestrado, Departamento de Geociências do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

Eckhardt, R. R.; Saldanha, D. L. e Rocha, R. S. Modelo Cartográfico aplicado ao mapeamento das áreas urbanas sujeitas às inundações da cidade de Lajeado/ RS. *Revista Brasileira de Cartografia.* Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia – CEP SRM, 2008

EM-DAT: The OFDA/CRED International Disaster Database. Université Catholique de Louvain. Brussels, Belgium. Disponível em: www.em-dat.net Acesso em 02/11/11

Felippe, M. F. *Espacialização e classificação das zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte*. Monografia (Graduação). IGC/UFMG. 2007.

Feltran Filho, A. e Lima, E. F. Considerações morfométricas da bacia do rio Uberabinha – Minas Gerais. *Sociedade E Natureza*. Uberlândia: UFU. v. 19. n. 1, p.65-80, 2007.

Fonseca, B. M. *O Uso do Sistema de Informações Geográficas na Análise Morfométrica e Morfológica de Bacias de Drenagem na Serra do Espinhaço Meridional – MG*. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Federal de Minas Gerais. 2010

GeoMinas. Disponível em: <http://www.geominas.mg.gov.br/> Acesso em 15/03/09

Gladwell, J.S. and Sim, L.K. *Tropical Cities: managing their water*. IHP Humid tropics Programme Series no. 4, IHP-UNESCO. 1993.

Gonçalves, R. W.; Pinheiro, P. R.; Freitas, M. A. Métodos multicritérios como auxílio à tomada de decisão na bacia hidrográfica do Rio Curu - Estado do Ceará. *Anais Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos* . 2003

Google Earth. Software disponível em: <http://www.google.com/intl/pt-PT/earth/index.html>

Horton, R. E. Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrographical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, v.56, n.2, p.275-370, 1945.

IBGE. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em 18/03/10

INMET. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em 18/03/10

Jornal Alterosa. *Bombeiros dão dicas para evitar inundações*. Jornal da Alterosa 1ª Edição. Disponível em: www.alterosa.com.br. Acesso em 05/01/09.

Jornal Alterosa. *Homem morre na enchente em Belo Horizonte*. Jornal da Alterosa 1ª Edição. Disponível em: www.alterosa.com.br. Acesso em 14/04/11.

Jornal Alterosa. *Temporal volta a provocar inundação em Belo Horizonte*. Jornal da Alterosa 1ª Edição. Disponível em: www.alterosa.com.br. Acesso em 14/04/11.

Jornal Alterosa. *Enchente relâmpago assusta moradores*. Jornal da Alterosa 1ª Edição. Disponível em: www.alterosa.com.br. Acesso em 14/04/11.

Jornal Estado de Minas. *Inundação na Av. Cristiano Machado em 15/12/2008*. Disponível em: www.estadodeminas.com.br. Acesso em 18/12/08.

Jornal Estado de Minas. *Chuva causa alagamentos em Belo Horizonte*. Disponível em: www.estadodeminas.com.br. Acesso em 14/04/11.

Konrad, C.P. *Effects of Urban Development on Floods*. USGS Fact Sheet FS-076-03, 2003.

Lei N.º 9.985 de 18/07/00. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9985.htm Acesso em 15/08/11

Lei N.º 4.771 de 15/09/65. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm Acesso em 15/08/11

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

Manuelzão. *A Bacia do Ribeirão do Onça*. 2009 Disponível em: www.manuelzao.ufmg.br/meta2010. Acesso em: 02/02/10.

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

Moreira, J. L. B. *Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu*

entorno [manuscrito]. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais. 2002.

Parizzi, M.G. *Mecanismos e condicionantes de ruptura em taludes da Região Metropolitana de Belo Horizonte*. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Ouro Preto, 211p. 2004

PBH. Disponível em: <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/> Acesso em 23/10/11

PBH. *Plano de Ações de Combate às Inundações em Belo Horizonte*. Belo Horizonte, 2011. Disponível em: [http://issuu.com/geel/docs/plano de ações de combate a inundações em bh 2011](http://issuu.com/geel/docs/plano_de_ações_de_combate_a_inundações_em_bh_2011) Acesso em 23/10/2011.

Pruski, F.F.; Brandão, V.S. e Silva, D.D. *Escoamento Superficial*. Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 88p. 2003.

Reis, R.J. e Simões, T.K. MG Tempo – PUC Minas: Período chuvoso em Belo Horizonte 2006 / 2007. *Relatório do Convênio MG - Tempo PUC Minas/PBH*, 34p. 2007

Reis, P.E. *O escoamento superficial como condicionante de inundações em Belo Horizonte, MG: Estudo de caso da sub-bacia Córrego do Leitão, Bacia do ribeirão Arrudas*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Geologia-UFMG.132p. 2011

Resolução CONAMA N°303 de 20/03/02. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res02/res30302.html> Acesso em: 12/05/11

Ribeiro, C. M., Mól, C. R. F. Avaliação das mudanças climáticas em Belo Horizonte: análise dos parâmetros temperatura e precipitação. *Anais do Simpósio sobre a situação ambiental e qualidade de vida na Região Metropolitana de Belo Horizonte – MG*, Belo Horizonte, v.1, p. 67-77. 1985.

Ross, J. S. Geomorfologia aplicada aos EIA-RIMAs. In: A. Guerra, & S. Cunha, *Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1996

Santos, R.F.S (Organizadora). *Vulnerabilidade Ambiental*. Brasília: MMA, 2007.

SEMAD. Disponível em: <http://www.semاد.mg.gov.br/noticias/1/809-sistema-de-alerta-de-enchentes-e-discutido-na-bacia-do-rio-das-velhas>. Acesso em 23/10/11

Silva, A. S.; Carvalho, E. T.; Fantinel L. M.; Romano, A. W.; Viana, C. S. *Estudos Geológicos, Hidrogeológicos, Geotécnicos e Geoambientais Integrados no Município de Belo Horizonte*. Relatório Final. Convênio: PMBH, SMP, FUNDEP/ UFMG. 490p. 1995

Silva, J. X. *Geoprocessamento para Análise Ambiental*. Rio de Janeiro. 2001

Silveira, R.D. *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. 2007

Soares Filho, B. S. Modelagem de dados espaciais. *Curso de especialização: textos didáticos e monografias*. 2000.

Souza, S. *Geoprocessamento aplicado à identificação de áreas potenciais à degradação da qualidade da água*. Monografia (Especialização) - Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de pós graduação em Geoprocessamento e Cartografia Automatizada. Belo Horizonte. 2008

Strahler, A. N. Dimensional analysis applied to fluvial eroded landforms. *Geological Society of America Bulletin*, v.69, p.279-300. 1958.

Tucci, C.E.M., Bertoni, J.C. (orgs.). *Apostila de Inundações Urbanas da América Latina*. Porto Alegre, Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 129 p. 2003.

Urban Flood Risk Management – A tool for integrated Flood Management. World Meteorological Organization. 2008. Disponível em: http://www.apfm.info/pdf/ifm_tools/Tools_Urban_Flood_Risk_Management.pdf Acesso: 08/10/22

Villela, S.M.; Mattos, A. *Hidrologia Aplicada*. In: *Ciclo Hidrológico*. Villela, S.M., Mattos, A. (eds.). 1936.