

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Departamento de Geografia

Lucas Vinicius Bezerra Cavalcante

**A bacia do rio Arrudas: Análise das inundações entre 1930
a 2005 no município de Belo Horizonte/MG**

Minas Gerais – Brasil
Agosto de 2011

Lucas Vinicius Bezerra Cavalcante

**A bacia do rio Arrudas: Análise das inundações entre 1930
a 2005 no município de Belo Horizonte/MG**

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

Área de Concentração: Análise Ambiental

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Vilma Lúcia Macagnan Carvalho

Belo Horizonte
Departamento de Geografia da UFMG
2011

C376b Cavalcante, Lucas Vinícius Bezerra.
2011 A bacia do rio Arrudas [manuscrito] : análise das inundações entre 1930 a 2005 no município de Belo Horizonte/MG / Lucas Vinícius Bezerra Cavalcante. – 2011.
132 f. : il., fots. (color.), mapas (color.), tabs.

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

Área de concentração: Análise Ambiental.

Orientadora: Vilma Lúcia Macagnan Carvalho.

Bibliografia: f. 126-130.

Inclui anexo.

1. Recursos hídricos – Desenvolvimento – Arrudas, Bacia, Rio (MG) – Teses. 2. Hidrologia urbana – Arrudas, Bacia, Rio (MG) – Teses – 3. Inundações – Arrudas, Bacia, Rio (MG) – Teses. I. Carvalho, Vilma Lúcia Macagnan. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 556.5(815.1)

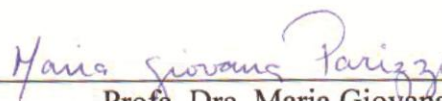
Dissertação defendida e aprovada, em 10 de agosto de 2011, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Vilma Lúcia Macagnan Carvalho



Profa. Dra. Cristiane Valéria de Oliveira



Profa. Dra. Maria Giovana Parizzi

À Ana Alice Madeira pelo carinho e compreensão durante o árduo caminho trilhado. A meu irmão Marco Cavalcante e sobrinho Lucas Melo pelo apoio e carinho. As minhas Tias Lúcia e Maria do Carmo Madeira, pelo apoio, carinho e ajuda incondicional hoje e sempre. Ao Gustavo Rocha pelo auxílio e companheirismo durante todas as dificuldades encontradas nesses dois anos e meio.

AGRADECIMENTOS

Peço desculpas aos que de alguma forma auxiliaram no meu trabalho e que, no entanto, não terão os nomes citados, porém sou grato a todos da mesma maneira que os demais destacados abaixo:

À minha orientadora Vilma Lúcia Macagnan Carvalho pela compreensão e paciência, sempre me apoiando e auxiliando durante a elaboração da dissertação. As professoras Maria Giovana Parizzi e Cristiane Valéria pelas sugestões indicadas na defesa e que contribuíram, em muito, para a melhoria da versão final da dissertação.

Aos geógrafos Ricardo Boaventura e Sônia Baumgratz pelo exemplo profissional e pessoal proporcionado. Sem o apoio dado durante toda a dissertação não seria possível me tornar mestre. Agradeço ao Ricardo Boaventura, por ter acreditado no meu projeto de pesquisa e apoiado o tema desenvolvido mesmo quando ninguém mais acreditava em sua viabilidade.

Agradeço a Prefeitura de Belo Horizonte por ter sempre permitido o acesso a dados e materiais essenciais à pesquisa. Ressalto, sobretudo, a gratidão aos técnicos do setor de drenagem urbana da instituição que foram muito solícitos as minhas requisições.

A PRODABEL pelas imagens de satélites e bases cartográficas georreferenciadas cedidas, todas apresentando alto padrão de qualidade e essenciais ao trabalho.

Aos professores Antônio Magalhães e Cristiane Valéria por terem, na qualificação, permitido a viabilização do trabalho graças a seus questionamentos e sugestões.

Agradeço a Grazielle Anjos pelo apoio, como amiga e como especialista em Geoprocessamento. Suas bases cartográficas cedidas e conselhos foram importantíssimos ao desenvolvimento da pesquisa.

À Equipe da Ecodinâmica Consultores Associados que me permitiram crescer profissionalmente, refletindo em um amadurecimento em conteúdo e experiências profissionais que repercutiram em melhorias graduais na pesquisa.

A todos os professores que me ministraram matérias ao longo da vida, com especial atenção aos Professores do Instituto de Geociências. Destacando o Professor Roberto Célio Valadão que me ensinou desde a iniciação científica e monografia o valor da humildade, competência e independência. O conhecimento das bases de uma pesquisa científica devo a ele. Ao professor André Augusto Salgado, meu co-orientador de monografia, que com suas orientações e conselhos me preparou para o que viria pela frente sendo aluno de pós-graduação.

Aos meus amigos Keila Guimarães, Letícia Lima e Vanessa Godoy que me apoiaram sempre através de horas de descontração e desabafo.

Agradeço a Deus pela oportunidade de desenvolver na pós-graduação em geografia a presente pesquisa me proporcionando o convívio com profissionais reconhecidos e que permitiu meu amadurecimento profissional e pessoal.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
Objetivos.....	4
Metodologia.....	4
1 – AS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS: CAUSAS E FORMAS DE CONTROLE	12
1.1- A Bacia Hidrográfica enquanto sistema geomorfológico.....	12
1.2- Impactos da urbanização sobre o Ciclo Hidrológico.....	14
1.3- As inundações urbanas.....	24
1.4- As medidas de amortecimento das inundações urbanas.....	28
2- A BACIA DO RIO ARRUDAS/MG: CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA	38
2.1 - Características Gerais.....	38
2.2 - Geologia.....	41
2.3 - Geomorfologia.....	47
2.4 - Clima.....	57
2.5 - Uso e Ocupação do Solo.....	65
3 - AS INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO ARRUDAS/MG: 1930 a 2005	84
3.1 - Introdução.....	84
3.2- As Inundações na Bacia do rio Arrudas/MG: Evolução espacial e histórica.....	85
4-CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
5-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	126
ANEXOS	131
A - Mapa de Pontos de Inundação do município de Belo Horizonte (1980-2005).....	132

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01	Áreas não imageadas pelo satélite QUICKBIRD.....	6
FIGURA 02	Exemplo de padrões de classificação encontradas e sua respectiva interpretação para o ano de 2005 em trecho da bacia do Córrego do Jatobá.....	8
FIGURA 03	Mapa de Bacias Elementares do rio Arrudas/MG	10
FIGURA 04	Processos veiculados a urbanização e suas conseqüências.....	15
FIGURA 05	Alterações na dinâmica das enchentes da passagem de Área Rural para Urbana.....	16
FIGURA 06	Fluxograma simplificado do fluxo terrestre do ciclo hidrológico.....	18
FIGURA 07	Fluxograma simplificado do fluxo terrestre do ciclo hidrológico após alterações via urbanização intensiva da bacia hidrográfica.....	19
FIGURA 08	Efeito da Urbanização sobre a vazão média de enchente numa área de 1m ²	20
FIGURA 09	Fases gerais de urbanização com processo associado de mudança nas condições de canal e ajustamentos de morfologia.....	21
FIGURA 10	Variação da produção de sedimentos em decorrência da evolução urbana.....	21
FIGURA 11	Representação esquemática da urbanização e sua influencia sobre os trechos de poluição de um rio.....	23
FIGURA 12	Estágios de desenvolvimento de uma bacia hidrográfica e impacto das medidas de controle de enchente.....	26
FIGURA 13	Ilustração do sistema de diques e aumento do nível decorrente de sua implantação, podendo gerar maiores impactos caso falhe.....	29
FIGURA 14	Amortecimento do Hidrograma de um rio pela implantação de reservatório e síntese de seu funcionamento.....	29
FIGURA 15	Zoneamento das áreas inundáveis de União da Vitória e Porto Vitória/PR.....	33
FIGURA 16	Município de Belo Horizonte: suas bacias hidrográficas e localização da área de estudo.....	39
FIGURA 17	Visão geral do Quadrilátero Ferrífero e principais formações litológicas.....	42
FIGURA 18	Litologia da bacia do rio Arrudas.....	43
FIGURA 19	Mapa de declividade da bacia do rio Arrudas.....	48

FIGURA 20	Formas de relevo na bacia do rio Arrudas/MG.....	50
FIGURA 21	Modelo Digital de Elevação da Bacia do Rio Arrudas/MG.....	51
FIGURA 22	Mapa hipsométrico da bacia do rio Arrudas/MG.....	53
FIGURA 23	Balanço Hídrico mensal de Belo Horizonte entre 1910 e 1920.....	60
FIGURA 24	Mapa de Climas “Naturais” da bacia do rio Arrudas em Belo Horizonte.....	62
FIGURA 25	Mapa de climas urbanos de Belo Horizonte na bacia do rio Arrudas	63
FIGURA 26	Mapa de evolução da mancha urbana de Belo Horizonte no período de 1918 a 2005.....	68
FIGURA 27	Lei de Parcelamento e uso do solo do município de Belo Horizonte (nº 8137/2000) na bacia do rio Arrudas.....	77
FIGURA 28	Mapa de crescimento populacional das unidades de planejamento de Belo Horizonte para o período de 1991 a 2000.....	78
FIGURA 29	Coeficiente de impermeabilização por bacia elementar em 1999...	81
FIGURA 30	Mapa do sistema viário de Belo Horizonte e seus recursos hídricos	82
FIGURA 31	Dados de Precipitação para o Município de Belo Horizonte.....	85
FIGURA 32	Ocorrência de inundações entre 1930-1940.....	87
FIGURA 33	Ocorrência de inundações para o período de 1941-1950.....	89
FIGURA 34	Ocorrência de inundações para o período de 1961-1970.....	92
FIGURA 35	Ocorrência de inundações para o período de 1971-1980.....	97
FIGURA 36	Ocorrência de inundações para o período de 1981-1985.....	100
FIGURA 37	Ocorrência de inundações para o período de 1986-1990.....	104
FIGURA 38	Ocorrência de inundações para o período de 1991-1995.....	107
FIGURA 39	Ocorrência de inundações para o período de 1996-2000.....	110
FIGURA 40	Ocorrência de inundações para o período de 2001-2005.....	113
FIGURA 41	Número de Ocorrências de inundações por período analisado.....	117
FIGURA 42	Ocorrência de inundações para o período de 1930-2005.....	120

LISTA DE TABELAS

TABELA 01	Alteração de parâmetros climáticos devido à urbanização.....	14
TABELA 02	Principais Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.....	25
TABELA 03	Medidas Estruturais extensivas.....	29
TABELA 04	Medidas Estruturais intensivas.....	30
TABELA 05	Exemplos de Melhores Práticas de Manejo das Águas das Pluviais Urbanas para o seu tratamento	35
TABELA 06	Exemplos de Melhores Práticas de Manejo das Águas das Pluviais Urbanas para o seu tratamento de sua poluição.....	35
TABELA 07	Bacias Hidrográficas e suas dimensões nos municípios de Contagem, Belo Horizonte e Sabará.....	38
TABELA 08	Comprimento de canais fluviais canalizados na bacia do Rio Arrudas nos municípios de Contagem e Belo Horizonte.....	40
TABELA 09	Dados das margens do rio Arrudas por município.....	54
TABELA 10	Relação litologia, relevo e propensão a erosão para a Canga e os Xistos/Filitos para o Quadrilátero Ferrífero/MG.....	55
TABELA 11	Síntese da evolução geomorfológica da Depressão de Belo Horizonte.....	56
TABELA 12	Sistemas atmosféricos e sua influência nas condições de clima de Belo Horizonte.....	58
TABELA 13	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1930-1940.....	86
TABELA 14	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1941-1950.....	90
TABELA 15	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1961-1970.....	93
TABELA 16	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1971-1980.....	95
TABELA 17	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1981-1985.....	99

TABELA 18	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1986-1990.....	103
TABELA 19	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1991-1995.....	108
TABELA 20	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1996-2000.....	109
TABELA 21	Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 2001-2005.....	112
TABELA 22	Possíveis fatores responsáveis pelas Inundações na bacia do rio Arrudas para o período de 1930 a 2005.....	118

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB -	Alta da Bolívia
APAS -	Anticiclone Subpolar Atlântico Sul
ASAS -	Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul
BC -	Baixa do Chaco
BMP -	Best Management Practice
CETEC -	Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais
CPMTC -	Centro de Pesquisa Manuel Teixeira da Costa
CPRM -	Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais
CT -	Convergência Tropical
EMBRAPA -	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FF-	Frente Fria
FJP-	Fundação João Pinheiro
GEOMINAS -	Programa Integrado de Uso da Tecnologia de Geoprocessamento no Estado de Minas Gerais
IBGE -	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IGA -	Instituto de Geociências Aplicada
LI -	Linha de Estabilidade

PBH -	Prefeitura de Belo Horizonte
PIB -	Produto Interno Bruto
PLAMBEL -	Plano Metropolitano de Belo Horizonte
PRODABEL -	Empresa de Processamento de Dados de Belo Horizonte
RMBH-	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SAD - 69	South American Datum of 1969
SF -	Sistema Frontal
SMURBE -	Secretaria Municipal de Políticas Urbanas
SUDECAP -	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
UFMG -	Universidade Federal de Minas Gerais
UPs	Unidades de Planejamento
UR	Umidade Relativa
UTM	Universal Transverse Mercator
ZCAS -	Zona de Convergência do Atlântico Sul
ZP - 1	Zona de Preservação 1
ZP - 2	Zona de Preservação 2
ZPAM	Zona de Preservação Ambiental

RESUMO

Apesar dos grandes prejuízos que as inundações urbanas causam anualmente a Belo Horizonte, pouco se sabe sobre as suas dinâmicas no município. O presente estudo objetiva compreender melhor a dinâmica espaço-temporal das inundações urbanas na bacia do rio Arrudas/MG para o período de 1930 a 2005. A metodologia foi pautada na correlação de informações presentes nos mapas de expansão da mancha urbana, produzidos através da interpretação de imagens de satélite, ocorrência de inundação por bacia hidrográfica, baseado em notícias de jornal publicadas pelo Jornal Estado de Minas, e dados de volume anual de chuvas, bem como informações históricas sobre as canalizações implantadas pela Prefeitura. A análise permitiu identificar dois períodos históricos diferentes na análise da ocorrência da inundação urbana: início da ocupação, quando a causa eram as drenagens mal dimensionadas no interior da mancha urbana; desenvolvimento da área impermeabilizada, levando ao acentuamento das ocorrências graças à alteração do uso e ocupação do solo e canalizações dos afluentes do rio Arrudas. Para o período de 1930 a 1970 observou-se o agravamento gradual e contínuo do problema. Na década de 80 houve o segundo pior período de ocorrência de inundações, sobretudo, como reflexo do elevado índice pluviométrico para a década, o grande número de córregos canalizados e significativa extensão da mancha urbana de Belo Horizonte. A resposta da Prefeitura ao agravamento do problema foi a canalização quase que completa do rio Arrudas na área urbana, o que permitiu um amortecimento das enchentes em suas planícies ocupadas ao longo de toda década de 90 e ano 2000. Entre 2001-2005 as inundações retornam e surge o pior quinquênio de toda história, superando o número de casos da década de 80. As causas podem ser apontadas como a falta de manutenção dos canais de drenagem, o adensamento construtivo da mancha urbana, já significativa, e a características das chuvas para o período. O resultado da pesquisa é um histórico da dinâmica de inundações na bacia do rio Arrudas/MG que evidencia o agravamento do problema nas planícies, conforme se urbaniza o vale, e contribuição das canalizações dos afluentes à perda de vida útil da macrodrenagem principal do município. Outro aspecto observado é a recorrência na história de ocupação de Belo Horizonte da transferência do problema das áreas elevadas para as áreas baixas do relevo.

Palavras-chave: recursos hídricos; inundações urbanas; expansão da mancha urbana, bacia do rio Arrudas

ABSTRACT

Despite the large losses that flooding cause annually in Belo Horizonte, there are few information about its dynamics in the city. This study aims to better understand this spatial-temporal dynamics of urban flooding in the Basin of Arrudas River / Minas Gerais from 1930 to 2005. The methodology was based on the correlation of information from maps of the urban expansion, produced through the interpretation of satellite images, flooding occurrence in each river basin, based in newspaper reports published by the Estado de Minas Journal, data of annual rains volume, as well as historical information about the channelization implemented by the City Hall. This analysis revealed two different historical periods of the occurrence of urban flooding: the beginning, when the drainage was poorly sized within the urban extension; expansion of the impermeabilization area, leading to occurrences aggravation due to change of soil use and occupancy and channelization of Arrudas river tributaries. For the 1930 to 1970 period there was a gradual and continuous worsening of the problem. In the 80's occurred the second worst period of urban flooding, mainly reflecting the high rainfall levels, number of channelized rivers and significant extension of the urban area of Belo Horizonte. The City Hall's response to the worsening of the problem was the almost complete channelization of the Arrudas river within the urban area, which attenuated the urban flooding in occupied flood plains throughout the 90's and 2000. Between 2001 to 2005 the urban flooding returned and became the worst problem of five years of all history, surpassing the number of cases of the 80's. The causes can be identified as poor maintenance of drainage channels, densification of the urban area, already significant, and rainfall characteristics for the period. The result of the research is the dynamic history of urban flooding in the Arrudas river basin / MG which shows the worsening of the problem on the floodplains, as the valley becomes urbanized and the contribution of the tributaries channelization to reduce the useful life of the city's main drainage. Another noticeable aspect is the recurrence, in the history of occupation of Belo Horizonte to transfer the problem from elevated areas to the low relief in the basin.

Key-words: water resources; urban flooding, urban expansion, Arrudas river basin

INTRODUÇÃO

Inaugurada em 1887, a cidade de Belo Horizonte, desde o princípio, teve uma relação conflituosa com seus recursos hídricos. Em um primeiro momento, os canais fluviais do município foram uma vantagem locacional para a escolha de Curral Del Rey como sítio a ser construída a cidade, no entanto já nos primeiros anos de ocupação começam a ser vistos como problema pela população Belo Horizontina (FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO - FJP, 1997).

Os recursos hídricos de Belo Horizonte sofreram todo tipo de impacto ambiental pela urbanização do vale destacando-se: a degradação da qualidade das águas e assoreamento do canal trazendo a cidade dificuldade de abastecimento de água e inundações recorrentes no interior da mancha urbana. Tais problemas foram decorrentes da intervenção predatória do homem sobre os recursos naturais do município, influenciados pelas relações políticas, sociais e econômicas de cada período histórico da cidade (FJP, 1997).

Todas as bacias hidrográficas que drenam Belo Horizonte sofrem em maior ou menor grau com as alterações produzidas pela urbanização em seu Meio Ambiente. Das várias bacias inseridas nos limites municipais se destaca a do rio Arrudas, por abarcar o centro da cidade de onde a mancha urbana se espalhou rumo aos demais territórios do município.

Junto com a expansão urbana veio medidas preventivas de inundação implantadas pela Prefeitura de Belo Horizonte, destacando-se as canalizações. Essa medida estrutural, comumente aplicada na resolução das cheias da cidade, traz amplos impactos aos recursos hídricos desde o início de suas obras de implantação em meados de 1896. (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 a; REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO b, 1985; FJP, 1997; SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL - SUDECAP, 2000 c).

A canalização do Rio¹ Arrudas e seus afluentes em seu médio curso, já estava prevista no projeto inicial da cidade. Desde o princípio do planejamento da cidade por Aarão Reis e sua equipe, a canalização era prevista como a forma de higienizar a cidade e a manter livre da

¹ Dependendo da fonte o Arrudas é considerado rio ou ribeirão, alguns casos havendo o uso indiscriminado dos dois conceitos. No presente estudo será utilizada a definição geomorfológica-geológica de rio como qualquer fluxo canalizado (SUGUIO & BIGARELLA, 1979), porém com o diferencial proposto por CRISTOFOLETTI (1981) de que rio seria o principal e maior elemento da rede de drenagem sendo a nomenclatura de ribeirão, arroio, riacho, ribeiro, etc para os demais elementos de menor importância. Por ser o canal de drenagem principal da bacia, o Arrudas será considerado um rio.

água, que na época era vista como vetor de doenças nos núcleos urbanos². No entanto, os planejadores desconsideraram os problemas decorrentes da canalização dos recursos hídricos, principalmente o agravamento das inundações nas planícies e depressões urbanizadas (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 a; REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 b; FJP, 1997; SUDECAP, 2000 a).

Outro problema foram as drenagens projetadas muito aquém ao escoamento superficial observado na cidade, parte proveniente do projeto desconsiderar os aspectos físicos locais de Belo Horizonte. Os problemas de projeto da macro-drenagem foram determinantes a ocorrência das primeiras inundações na cidade (RAMOS, 1998).

Conforme se expandia a mancha urbana e eram feitos ajustes a macrodrenagem do município, os problemas de projeto perdem importância ante ao descontrole do uso e ocupação do solo da bacia trazendo como impactos a redução da infiltração no solo, ampliação do pico das cheias, redução da vazão no período seco, degradação da qualidade da água, por lixo e sedimentos, entre outros (TUCCI & CLARK, 1998; TUCCI, 2002; BRAGA & CARVALHO, 2003; WARD & TRIMBLE, 2004; CHIN, 2006; REBOUÇAS et. al., 2006)

Associado aos impactos gerados pela interferência antrópica sobre o ambiente da bacia a mesma sempre apresentou uma susceptibilidade natural às inundações, condicionada por seu relevo íngreme de Cristas Ravinadas com Vales Encaixados, picos elevados entre 1100 a 1200 metros (INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADA - IGA/ CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC, 1978) e o caráter orográfico das chuvas (SUDECAP a, 2000). A impermeabilização do solo, gerada pela expansão da mancha urbana da cidade, teve como papel agravar ainda mais essa susceptibilidade natural.

As inundações são então agravadas pela intervenção humana se tornando um problema recorrente da história de Belo Horizonte, sendo amplamente discutidas pela mídia e retratadas pelos jornais do município (SUDECAP, 2000 a). O rio Arrudas foi colocado como o grande vilão a população, gerando perdas de vida e/ou econômicas. O precário

² A percepção da água em meio urbano como vetor de doenças provém dos ideais do higienismo urbano. Nascido na Europa do século XVIII surgiu em meio à infra-estrutura urbana precária, principalmente nas questões de abastecimento, limpeza e esgotamento sanitário, associadas às características da cidade da época onde as ruas estreitas, carentes de insolação, tornaram o ambiente urbano propício a disseminação de doenças de veiculação hídrica, sendo assim a água era vista como problema e deveria ser drenada das cidades o mais rápido possível (CHAMPS, 1999 citado por SUDECAP, 2000 a). As canalizações e drenagens urbanas são fruto dos ideais do higienismo.

saneamento básico encontrado na cidade repercutiu na piora das inundações, pois tornou os eventos em uma catástrofe de saúde pública trazendo aos moradores afetados doenças típicas de águas poluídas como Cólera e Leptospirose (BRAGA & CARVALHO, 2003).

Apesar dos grandes prejuízos gerados em Belo Horizonte, bem como sua periodicidade quase anual, poucos estudos buscaram aprofundar no problema e o compreender de maneira mais holística (RAMOS, 1998). As inundações em Belo Horizonte sempre foram um problema comum a cidade, principalmente no período de Outubro a Março. No entanto, não há um trabalho que calcule qual o prejuízo que o fenômeno traz a cidade, porém segundo BAPTISTA & NASCIMENTO (1996 citado por RAMOS, 1998), quando não se há dados, podem-se estimar os prejuízos com as inundações em 0,3% do PIB. A ocorrência de uma inundação em Belo Horizonte, tendo como parâmetro o PIB para o ano de 2007, por exemplo, geraria um prejuízo aos cofres públicos de aproximadamente 114 mil reais (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2010). Neste caso tomando em consideração apenas os prejuízos econômicos (danos tangíveis), pois há ainda os danos intangíveis como perdas de vida e impactos ambientais tornando o desastre ainda maior (BALBI, 2008).

Os danos sociais e econômicos gerados justificariam diversos estudos sobre o tema em Belo Horizonte, porém pouco foi produzido sobre o assunto e quando analisado foi tratado de forma fragmentada por diversos autores e nos estudos da Prefeitura de Belo Horizonte. Tais pesquisas abarcam desde a impermeabilização do solo (SUDECAP, 2000 b; FELLIPE, 2007), ao histórico do problema (FJP, 1997; SUDECAP, 2000 c) ou ainda propõem melhorias de sua gestão tanto na questão da abordagem (RAMOS, 1998) quanto da operacionalização do planejamento (MACEDO, 2009). Porém, não há um estudo transversal do tema que procurou compreender as inundações em suas nuances, explicando porque há o extravasamento da água fluvial de forma mais abundante em determinada sub-bacia do rio Arrudas e não em sua vizinha, muitas vezes com as mesmas características ambientais.

De certa forma estes autores que relatam os problemas da falta de planejamento urbano em Belo Horizonte e suas consequências citam as inundações urbanas, no entanto não aprofundam o tema ou analisam apenas uma de suas causas (FJP, 1997; RAMOS, 1998; SUDECAP, 2000; FELLIPE, 2007; PREFEITURA DE BELO HORIZONTE -PBH, 2008; MACEDO, 2009).

A necessidade de pesquisas que abarquem o problema das inundações urbanas, na bacia do rio Arrudas, no município de Belo Horizonte, de forma mais transversal é evidente. Sabe-se que a impermeabilização do solo e a precipitação são os principais condicionantes do processo, porém não há um detalhamento de como foi a evolução dessas variáveis no tempo e sua função sobre a espacialização do problema. Durante a história da cidade os erros do planejamento urbano e medidas de mitigação tomadas para combater a inundação pela prefeitura foram outras variáveis que precisam ser melhor compreendidas e ainda não foram estudadas. O melhor conhecimento destes questionamentos poderiam contribuir para a compreensão da expansão da mancha urbana de Belo Horizonte e sua consequência sobre as inundações.

O presente trabalho buscará, ao analisar as inundações em um contexto sistêmico, identificar de forma mais abrangente as variáveis envolvidas nas inundações urbanas e compreender, principalmente, como a expansão da cidade de Belo Horizonte no interior da bacia do rio Arrudas pode ter agravado o problema. Essas informações serão um bom embasamento ao planejamento futuro da cidade, permitindo medidas que favoreçam uma convivência mais sustentável com o meio ambiente em que se insere e tornar mais efetivo o amortecimento de um problema que traz prejuízos econômicos a cidade anualmente e, principalmente, leva a morte e expõe ao risco uma considerável parcela da população.

Objetivos

O objetivo do trabalho é analisar a influência da expansão da mancha urbana e precipitação registrada no município de Belo Horizonte, na espacialização e temporalidade das inundações na bacia do rio Arrudas para o período entre 1930 até 2005.

Metodologia

O trabalho, por se propor como uma visão sistêmica do problema das inundações na bacia do rio Arrudas/MG abarca conhecimentos de diversas áreas científicas buscando uma percepção geográfica do fenômeno. Sendo assim, áreas do conhecimento como climatologia, geomorfologia, hidrologia urbana, entre outras são alvo de estudo.

A revisão bibliográfica teve como principal tema a compreensão da dinâmica das inundações em área urbana, tentando compreender como a impermeabilização do solo, principal impacto das cidades sobre os recursos hídricos, afeta as vazões dos rios, frequência e característica das cheias. Também foram abordadas as demais condicionantes ao problema como a intensidade da precipitação, geomorfologia, problemas de drenagem urbana, entre outros.

A cartografia foi importante base de construção de análises a pesquisa, para tanto foi utilizado diversas bases secundárias de demografia, impermeabilização do solo (PBH, 2008), geologia (UFMG/CPMTC, 2204; CPRM, 2000; RIBEIRO, 1999) formas de relevo (IGA/CETEC, 1978), declividade (PRODABEL, 2005), macrozoneamento urbano (PBH, 2008), entre outras. As bases cartográficas foram ajustadas aos limites da bacia do rio Arrudas e organizadas de forma a permitir uma visualização mais clara e fidedigna das características ambientais da área de estudo.

Para o caso da expansão da mancha urbana a cartografia também se destaca como ferramenta de análise. A mancha urbana e sua evolução foram analisadas através de material cartográfico produzido pela Prefeitura de Belo Horizonte (PREFEITURA DE BELO HORIZONTE, 1995) para o período entre 1918-1995 acrescido de interpretação de imagem Quickbird (PRODABEL, 2005) para a atualização das informações encontradas para os 10 anos necessários ao alinhamento da base cartográfica com os demais dados base a pesquisa: mapas de inundação e dados de precipitação.

A imagem de satélite abrange quase a totalidade da área de estudo não havendo dados apenas em pequena extensão relativa ao extremo sul da bacia. Não há, também, imagem para os demais municípios da bacia do rio Arrudas, Contagem e Sabará, o que determinou a escolha dos limites municipais de Belo Horizonte como enquadramento da análise da dissertação³ (FIG. 01).

³ Durante o trabalho ficou evidente a discrepância de dados existentes entre os municípios da bacia do rio Arrudas, tendo Belo Horizonte uma ampla gama de bases secundárias a serem trabalhadas enquanto que para Contagem e Sabará os mesmos não existem ou utilizam-se de metodologias distintas, inviabilizando que este estudo pudesse focar os problemas da bacia como um todo.

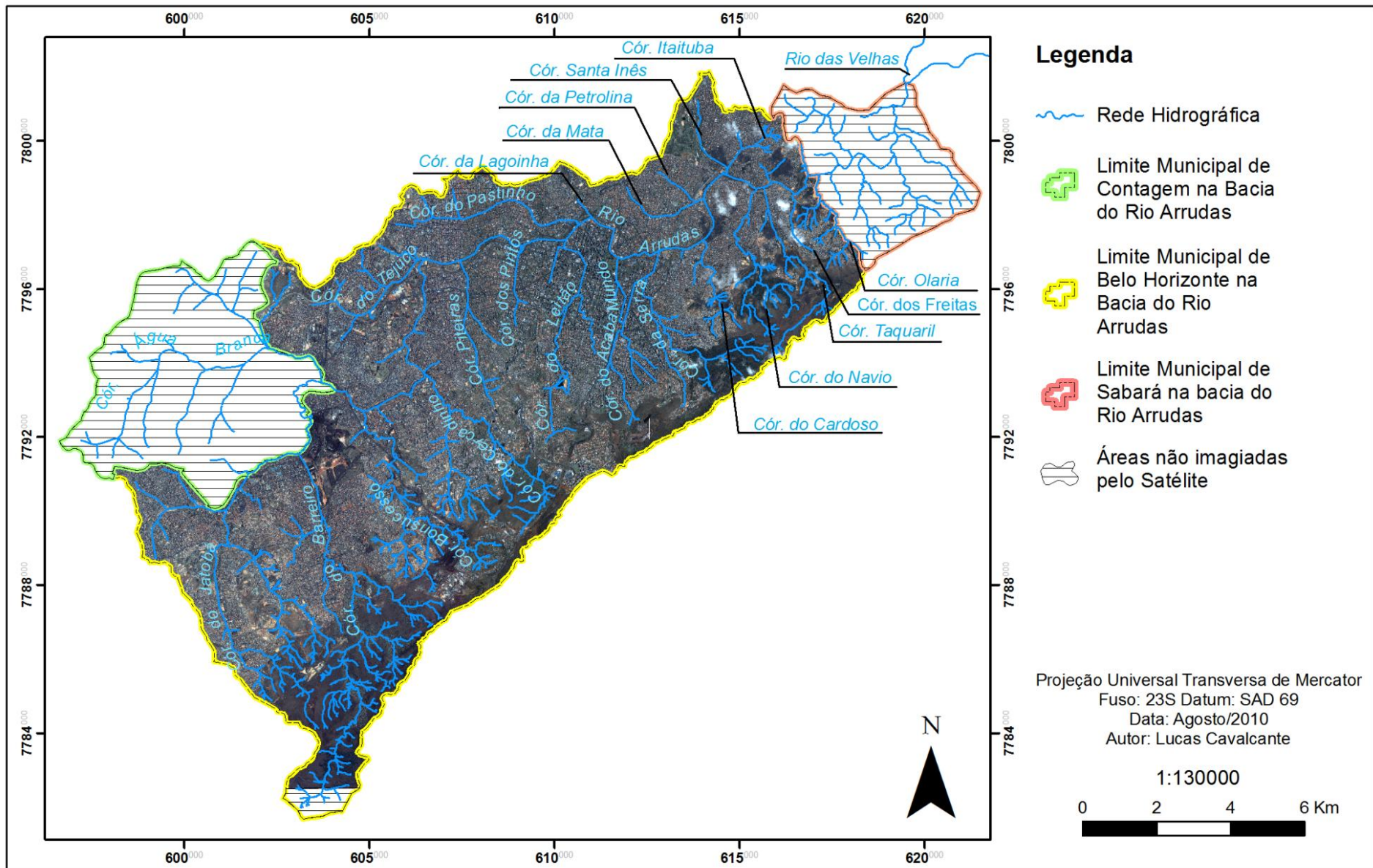


FIGURA 01- Áreas não imageadas pelo satélite QUICKBIRD na bacia do rio Arrudas/MG
 ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005

Nas áreas imageadas por satélite (PRODABEL, 2005) foi produzida interpretação do uso e ocupação do solo com vistas a identificação das áreas urbanizadas, consideradas como as áreas de alta reflectância (solo exposto/focos erosivos) a baixa reflectância (asfalto) com presença de infra-estrutura urbana já instalada, como ruas e quadras, por exemplo. Para o caso das áreas não-impermeabilizadas o padrão da imagem foi baixa reflectância em áreas de vegetação e alta reflectância em áreas de solos expostos apresentando padrões de ausência de infra-estrutura urbana, abrangendo desde áreas com poucas e esparsas residências ou até mesmo sem ocupação, além de abranger extensas regiões com variações da tonalidade da cor verde indicando vegetações em diferentes estágios sucessionais (FIG.02).

A análise de precipitação teve como embasamento os estudos desenvolvidos na área de clima destacando-se LUCAS (2007) que pesquisou as chuvas persistentes na região metropolitana de Belo Horizonte e ASSIS (2010) que fez a análise dos principais elementos climáticos do município entre 1911 a 2009. Os dados foram sintetizados e organizados em gráfico que permite a visualização do volume precipitado total por ano para o período de 1930 a 2005.

Após a composição do Mapa de expansão da mancha urbana e a análise da precipitação na bacia foram ajustados aos limites da bacia os mapas de Inundação desenvolvidos pela Prefeitura de Belo Horizonte (SUDECAP, 2000 c), para os estudos da primeira etapa do Plano de Drenagem de Belo Horizonte. Os mapas de inundação foram produzidos a partir de reportagens publicadas no jornal Estado de Minas relatando inundações no município de Belo Horizonte para o período de 1928⁴ a junho de 2000.

O levantamento dos dados de inundação encontrados nas reportagens foi produzido pela SUDECAP e Magna Engenharia sendo o primeiro responsável pelo levantamento para os períodos de 07/03/1928 a 02/01/1983 além de 1990 a junho de 2000. O segundo foi responsável pelos dados de inundação para o período de 03/01/1983 a 1990.

⁴ A data de 1928 não se refere especificamente à primeira inundação na bacia do rio Arrudas, o que foi registrado pelo ESTADO DE MINAS apenas em 1932, no entanto retrata uma informação interessante que se constitui na data da construção do primeiro canal do rio Arrudas no trecho da Praça da Estação.

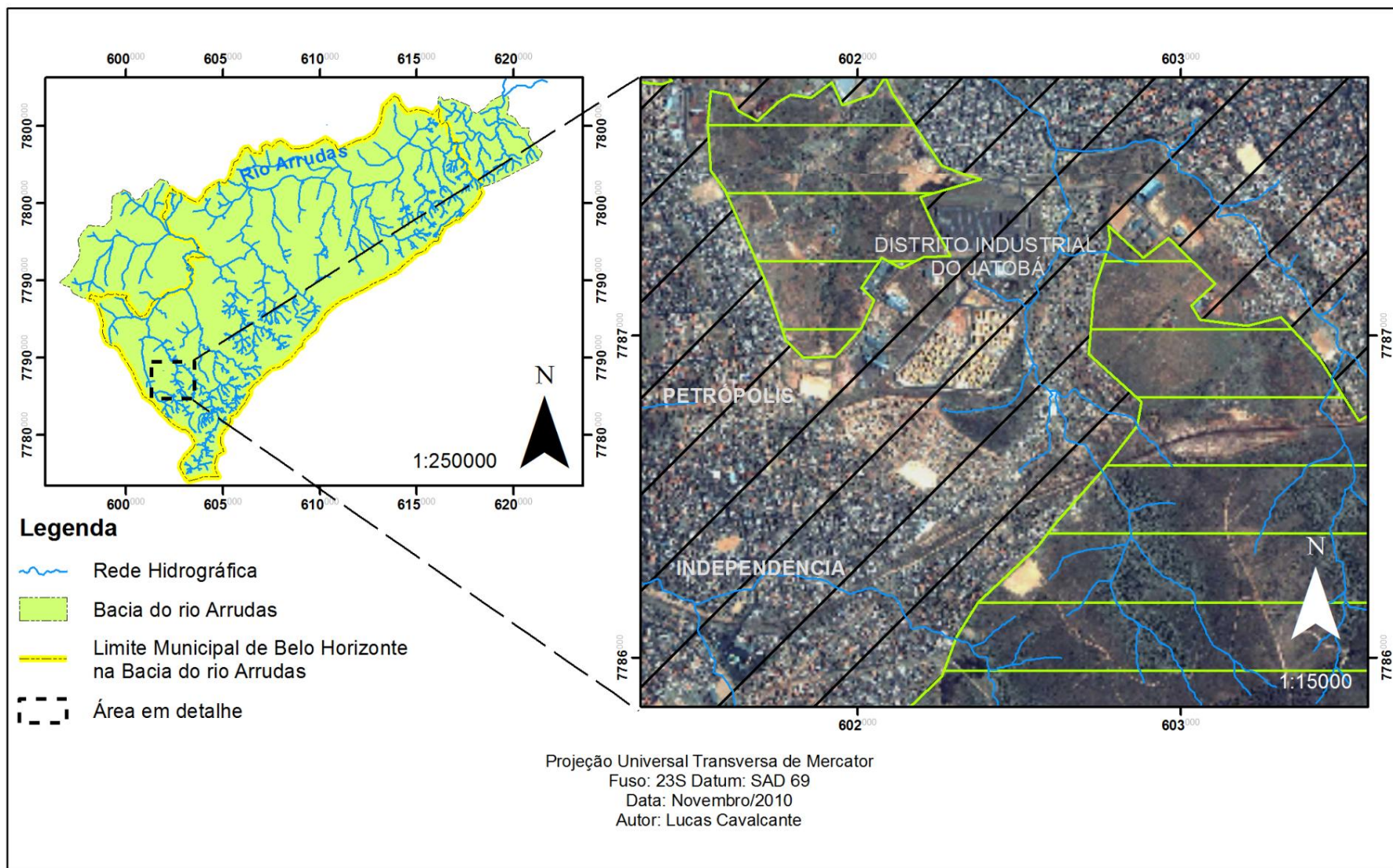


FIGURA 02 – Exemplo de padrões de classificação encontradas e sua respectiva interpretação para o ano de 2005 em trecho da bacia do Córrego do Jatobá. Em hachurado preto as áreas consideradas urbanizadas para o período e em hachurado verde as áreas consideradas não urbanizadas.
 ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005

Os casos levantados foram espacializados, ao serem separados por bacia elementar, e organizados também por ano. As bacias elementares foram a unidade espacial primária utilizada no Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte (SUDECAP, 2000 b), e pela pesquisa, tendo como base a delimitação das sub-bacias dos córregos dos municípios inseridos na bacia do rio Arrudas através de seus interflúvios e relativa homogeneidade das características físicas da área. Após a sua delimitação foi acrescentado código de identificação a cada uma delas (FIG. 03).

Para o período de 1930 a 2005 foram analisadas as inundações por bacia elementar tendo como recorte temporal décadas (30 a 80) e quinquênios (80 a 2005). Os estudos do Plano Diretor de Drenagem de Belo Horizonte (SUDECAP, 2000) abarcou o período de 1930 a 2000 sendo o último quinquênio (2000-2005) extraído do mapa de inundações desenvolvido pela SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS - SMURBE (2006). O mapa pode ser visualizado no anexo A e identifica os pontos de inundação em Belo Horizonte da década de 80 a 2005, tendo por base os trabalhos elaborados pelo Plano de Drenagem Urbano (SUDECAP, 2000 c) e sua atualização até o ano de 2005. Neste as inundações se apresentam agrupadas em sua recorrência nos locais onde ocorre, sendo desenvolvido em ambiente Arcview 9.3 a soma da ocorrência de inundações para cada bacia elementar, retirando-se o total de inundações para o período de 1980 a 2005. Posteriormente foi subtraído do valor total encontrado as ocorrências de 1980 a 2000, encontrado na base de dados da SUDECAP (2000 c), permitindo individualizar as ocorrências de inundação por bacia elementar para o período de 2001 a 2005.

Como observado durante a descrição da metodologia dos mapas de inundação, os mesmos foram produzidos por distintos autores, porém buscando-se sempre manter a fonte inicial de dados, a pesquisa das reportagens de inundação no jornal Estado de Minas. No entanto, sabe-se que essas diferentes formas de abordar uma mesma fonte podem trazer erros a pesquisa, principalmente em dados qualitativos retirados de jornais, onde a subjetividade do jornalista que descreve a enchente, bem como o contexto social da época, em muito influenciam o que pode ser considerado inundação e quais áreas foram privilegiadas em sua publicação.

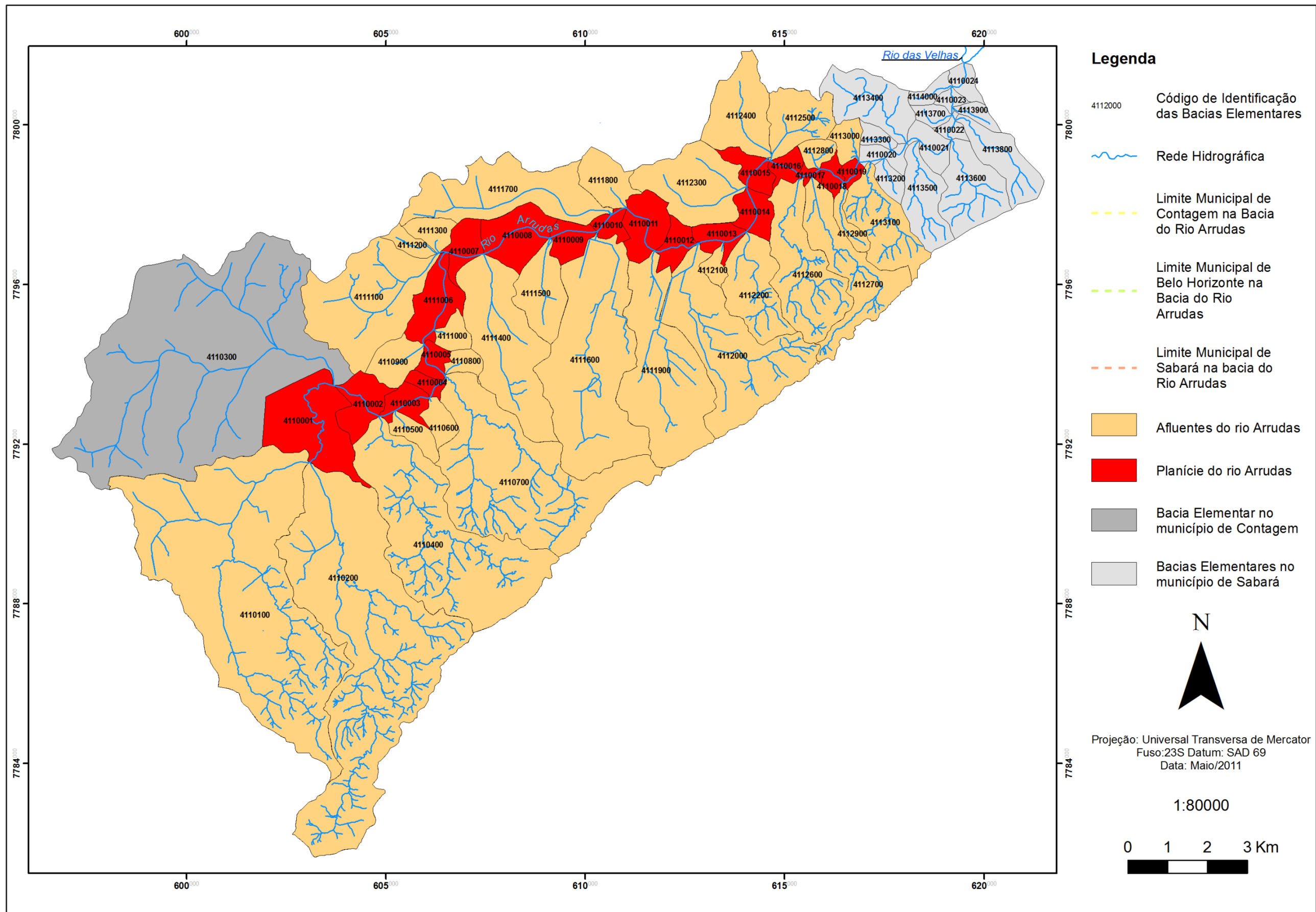


FIGURA 03 – Mapa de Bacias Elementares do rio Arrudas/MG
 ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000

No entanto as fontes históricas são extremamente importantes, principalmente em um país emergente onde faltam dados mais precisos, ainda mais em períodos mais remotos da história de Belo Horizonte. Os mapas de inundação foram uma importante ferramenta de análise para compreensão das inundações na bacia do rio Arrudas, tanto em sua espacialidade, como também em suas possíveis condicionantes.

1- AS INUNDAÇÕES EM ÁREAS URBANAS: CAUSAS E FORMAS DE CONTROLE

1.1 - A Bacia Hidrográfica enquanto sistema geomorfológico

O planeta Terra se constitui em um sistema dinâmico que se transforma, independente da ação antrópica, tendo a transferência de matéria e energia entre os elementos do sistema como propulsor de sua dinâmica (BRAGA & CARVALHO, 2003).

A estabilidade (Steady State) dos sistemas da Terra estaria vinculada ao “equacionamento entre a importação e exportação de matéria através do sistema, exprimindo-se por meio da ajustagem das formas do próprio sistema” (CHRISTOFOLETTI, 1991, p. 98). A estabilidade seria mantida por uma característica própria dos sistemas de se auto-regular, ou seja, qualquer modificação ambiental gera alterações no sistema como um todo. A interdependência dos elementos justificaria a auto-regulação do sistema. (CHRISTOFOLETTI, 1991; THORNE et al., 1997).

No estudo o sistema enfocado é a Bacia Hidrográfica, sendo considerada (TUCCI, 2002, p. 40):

“... uma área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exultório. A bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies, vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d’água que confluem até resultar um leito único no exultório.”

Também é abarcada a consideração de CUNHA & GUERRA (1996) de que seus limites são demarcados pelas linhas divisoras de água, pois, no caso da bacia do rio Arrudas, o acamamento das rochas do Supergrupo Minas faz com que o escoamento superficial seja desconexo do escoamento em subsuperfície.

A Bacia Hidrográfica também é considerada como um sistema físico em que a entrada de energia no sistema seria o volume precipitado e a saída a água escoada pelo exultório, havendo, no entanto, perdas intermediárias de matéria através da evaporação, transpiração e infiltração da água pluvial. O seu papel principal seria distribuir de forma mais lenta a água precipitada de forma concentrada no tempo e espaço (TUCCI, 2002).

Sendo assim, o principal agente de transformação da Bacia Hidrográfica seria a precipitação, que seria determinante tanto na esculturação da paisagem como na ocorrência de inundações (VERSTAPPEN, 1983; TUCCI, 2002).

No entanto, a bacia do Rio Arrudas/MG tem outras variáveis que não exclusivamente a chuva, que atuam no agravamento dos problemas de inundação. A bacia apresenta uma extensa mancha urbana que gerou a impermeabilização do solo a níveis insustentáveis. Sendo assim, observa-se que a estabilidade existente antes de sua ocupação já não existe e que a intervenção humana alterou o fluxo de matéria e energia do sistema prejudicando sua função hidrológica de armazenar e, gradualmente, liberar as águas da chuva. As inundações, que através do acúmulo de água nas planícies alagadas permitiam o aumento do tempo de concentração¹⁰ da água pluvial no interior da bacia hidrográfica, tem sido evitada ou amortecida nas áreas urbanas, sempre tendo este volume, antes retido no leito maior, um rápido deslocamento para as áreas de jusante. A importância das inundações ao equilíbrio geomorfológico das bacias hidrográficas, ao transportar sedimentos e assim esculpir a superfície da Terra (THORNE et al., 1997), não é considerada e uma série de problemas ambientais tem decorrido dessas ações.

Sendo assim, partindo de uma visão sistêmica da Bacia Hidrográfica do Rio Arrudas/MG, estão descritos nos próximos tópicos os impactos da urbanização sobre os recursos hídricos, as condicionantes das inundações urbanas e as formas de controle aplicadas.

¹⁰ Tempo de concentração é o tempo gasto pela água pluvial que se encontra no ponto mais remoto da bacia em alcançar o exutório da mesma. (VERSTAPPEN, 1983).

1.2 – Impactos da urbanização sobre o Ciclo Hidrológico

A Urbanização afeta de forma negativa o Ciclo Hidrológico e os recursos hídricos da bacia em que se insere. Para o Ciclo Hidrológico, a alteração do uso do solo decorrente da urbanização traz, em geral, “aumento do escoamento médio e superficial, tendo como conseqüência o aumento das enchentes; redução da evaporação e do escoamento subterrâneo, aumento da produção de sedimentos e material sólido; degradação da qualidade da água pluvial e contaminação dos aquíferos” (TUCCI & CLARK, 1998, p. 39) (FIG. 04).

O aumento do escoamento superficial é proveniente das alterações de capacidade de infiltração que a área urbana impõe a bacia hidrográfica. O concreto e o asfalto possuem de baixa a nula permeabilidade, levando ao escoamento acelerado das águas (TUCCI, 2002). Outro aspecto a se ressaltar é a retirada da vegetação e baixa densidade da mesma nos centros urbanos, sobretudo os brasileiros, reduzindo em muito as taxas de evaporação, interceptação e infiltração da água, aumentando as taxas do escoamento superficial (FIG. 05).

A baixa densidade vegetacional nos núcleos urbanos também impacta o clima local e dinâmica das chuvas gerando um aumento no volume precipitado, temperatura, umidade relativa do ar e nebulosidade (TAB. 01)

TABELA 01 – Alteração de parâmetros climáticos devido à urbanização

Elemento	Varição em relação à área rural
Precipitações Totais	+ 5 a 10 %
Temperatura do ar	+ 0,5 a 1,0 °C
Umidade Relativa	+ 2 a 8 %
Nebulosidade	+ 100 %

ADAPTADO DE: UEHARA, 1985 citado por TUCCI, 2002

As alterações sobre o escoamento ficam mais explícitas quando observamos o hidrograma¹¹ de uma bacia hidrográfica, havendo alterações no escoamento de base, pico de cheia, tempo de ocorrência do pico de cheia e redução do tempo de concentração da água (FIG. 05).

¹¹ O hidrograma de projeto ou hidrograma tipo é uma sequência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência. Esta sequência se caracteriza pelo seu volume, distribuição temporal e valor máximo denominado pico do hidrograma (TUCCI, 2002, p. 527).

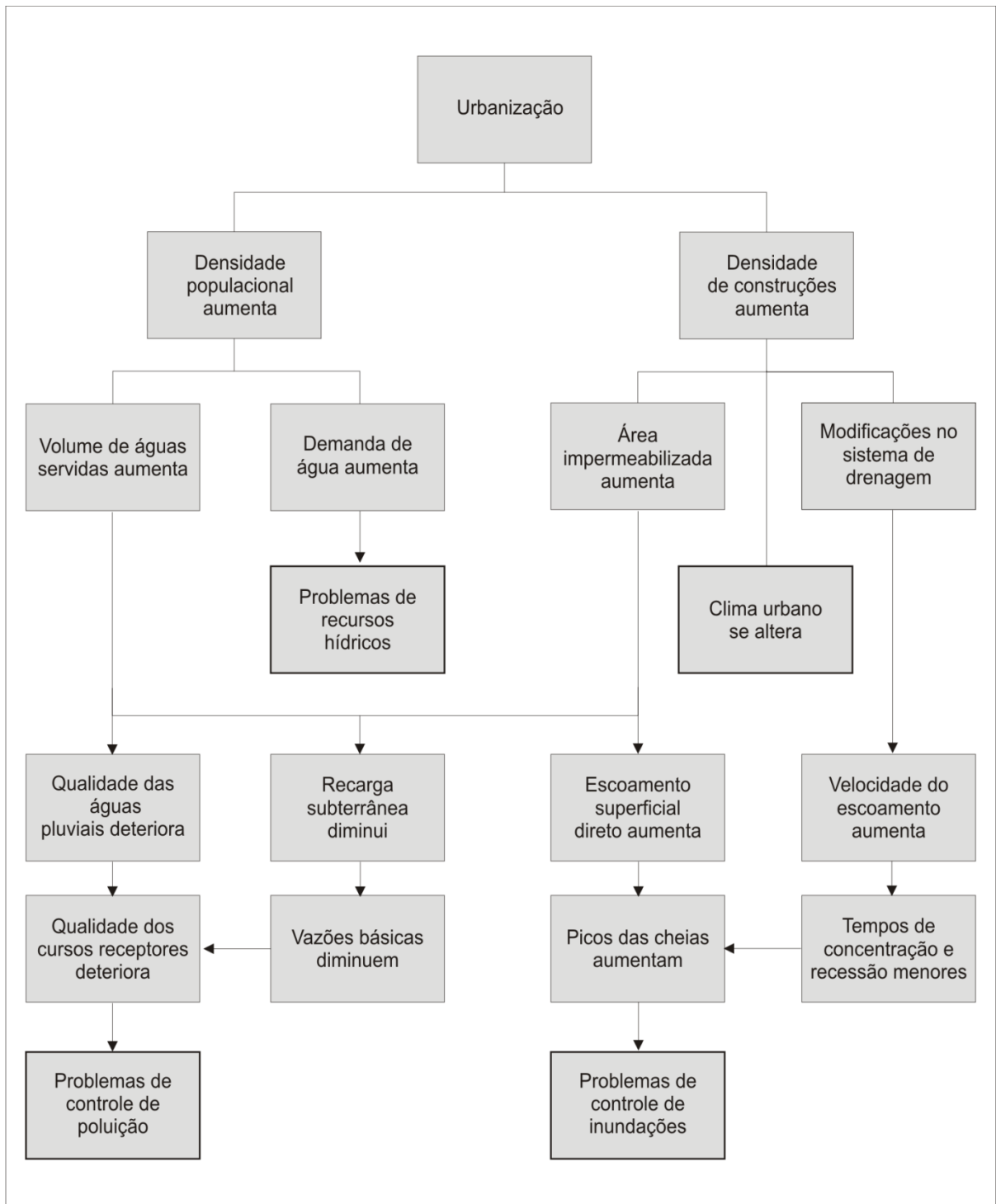


FIGURA 04 – Processos veiculados a urbanização e suas conseqüências
 ADAPTADO DE: HALL, 1984 citado por TUCCI, 2002. p. 808.

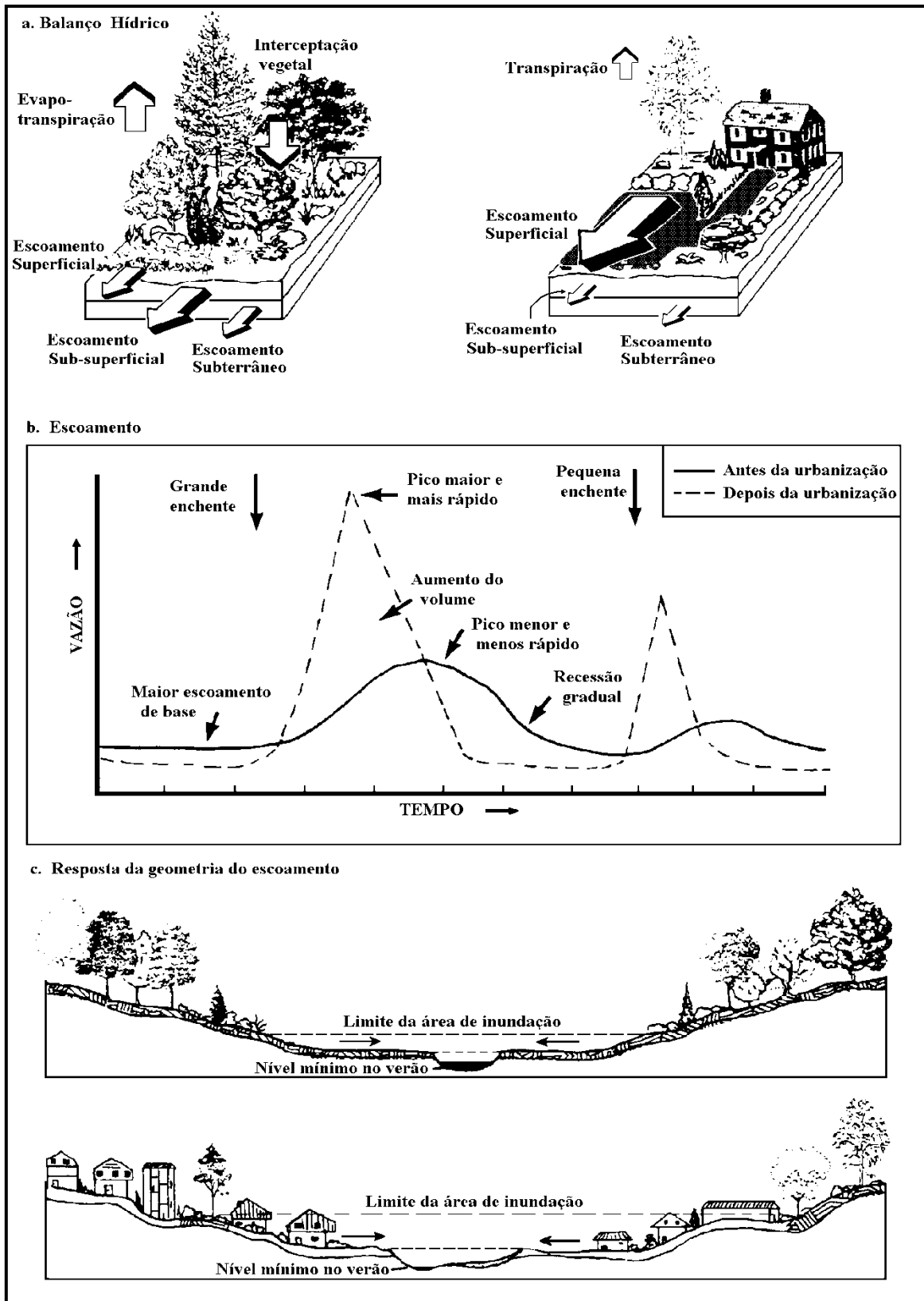


FIGURA 05 - Alterações na dinâmica das enchentes da passagem de Área Rural para Urbana:
a) Impactos no balanço hídrico b) Hidrograma evidenciando o impacto sobre o escoamento
c) Alteração na geometria dos canais fluviais
FONTE: SCHUELER, 1987 citado por SUDECAP, 2000 a. p. 14.

O escoamento de base é reduzido após a urbanização, isto porque a área impermeabilizada é maior, gerando a redução da infiltração e conseqüente diminuição dos níveis dos aquíferos prejudicando a alimentação dos rios perenes pela água de subsuperfície (TUCCI, 2002; WARD & TRIMBLE, 2004) (FIG. 06 e 07).

O aumento considerável do escoamento superficial em uma bacia urbanizada pode chegar para valores limites superiores a seis vezes a vazão máxima natural (LEOPOLD, 1968 apud REBOUÇAS et al., 2006) (FIG. 08). A água disponível em superfície aumentará o pico de cheia, chegando mais rápido a macrodrenagem¹² e ao mesmo tempo deixando a bacia mais rapidamente. Observa-se então que os picos de cheia se elevam mais rapidamente e o volume escoado é muito maior. A bacia reduz em muito seu tempo de concentração (FIG. 06).

A impermeabilização do solo gerada pela urbanização, além da implantação de condutos e canalizações, também gera impactos não só a descarga dos recursos hídricos urbanos como também altera a morfologia dos mesmos. A nova morfologia retrata as taxas de descarga e sedimentos trazidas ao canal pelo escoamento superficial das vertentes, refletindo em rios com leito natural em modificação de suas características físicas em resposta a nova condição ambiental (FIG. 05).

¹² Macrodrenagem pode ser caracterizada como “os escoamentos em fundos de vale que normalmente são bem definidos mesmo que não correspondam a um curso de água perene” (TUCCI, 2002; p. 823).

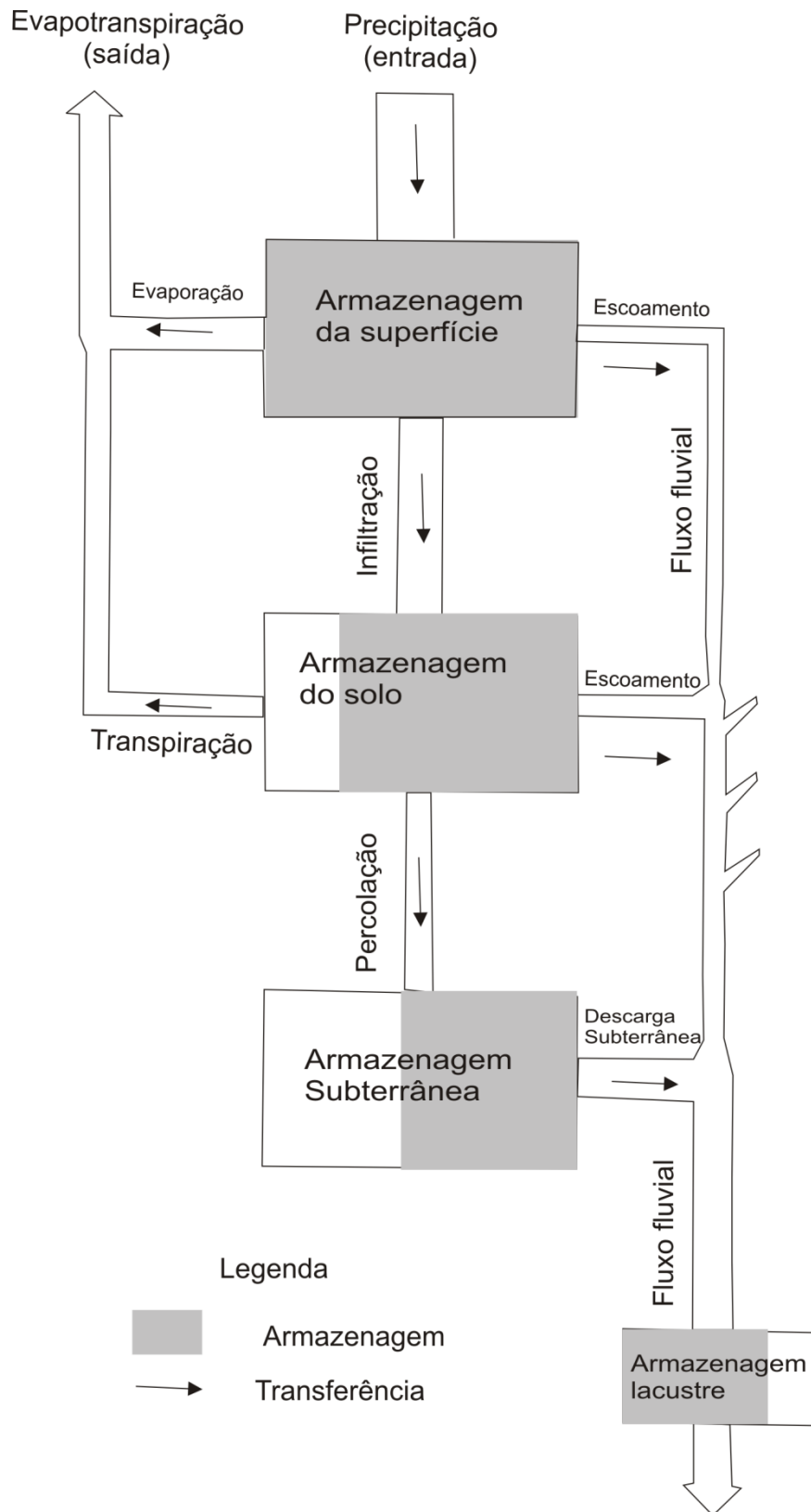


FIGURA 06 – Fluxograma simplificado do fluxo terrestre do ciclo hidrológico
 FONTE: BRAGA & CARVALHO, 2003. p. 116.

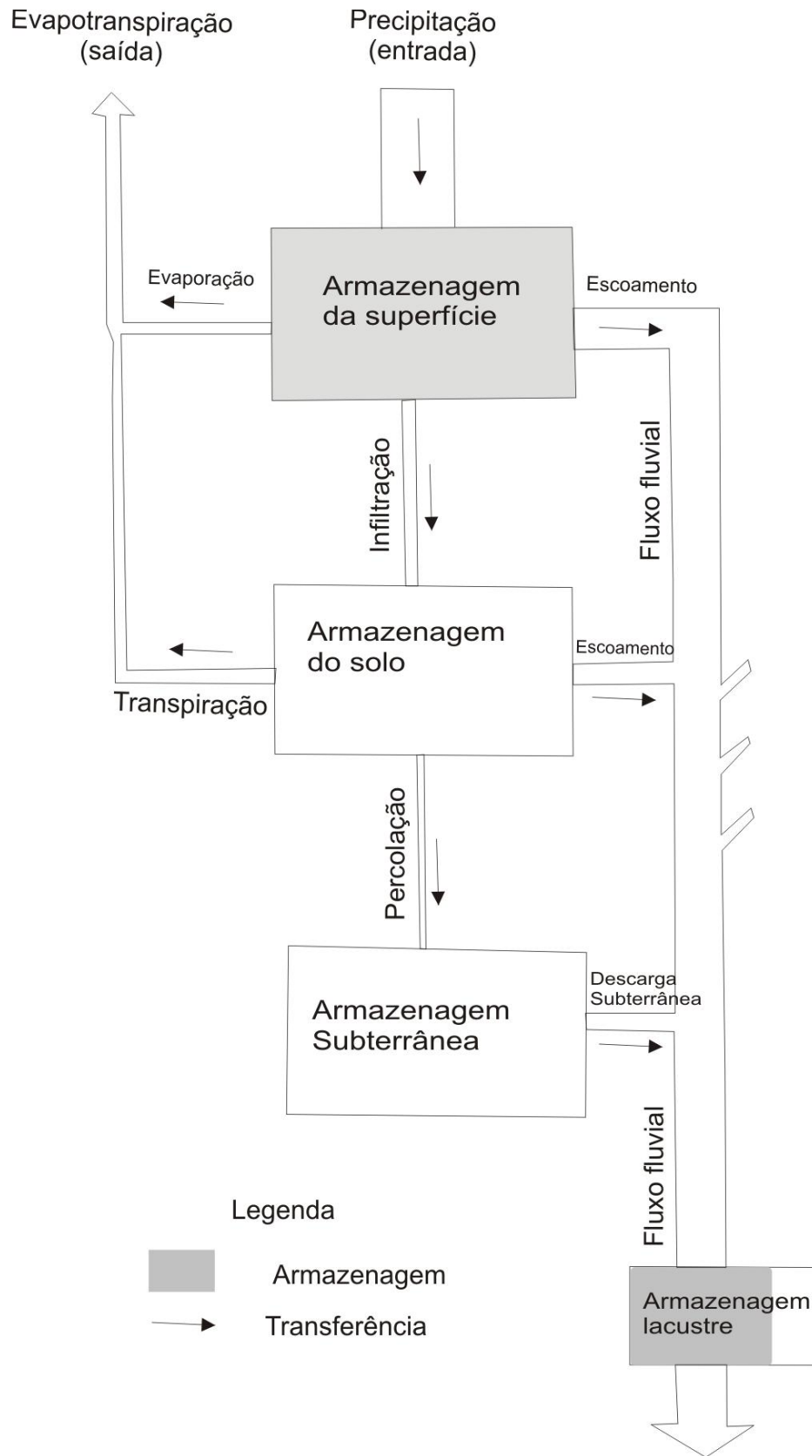


FIGURA 07 – Fluxograma simplificado do fluxo terrestre do ciclo hidrológico após alterações via urbanização intensiva da bacia hidrográfica.
 FONTE: BRAGA & CARVALHO, 2003. p. 117.

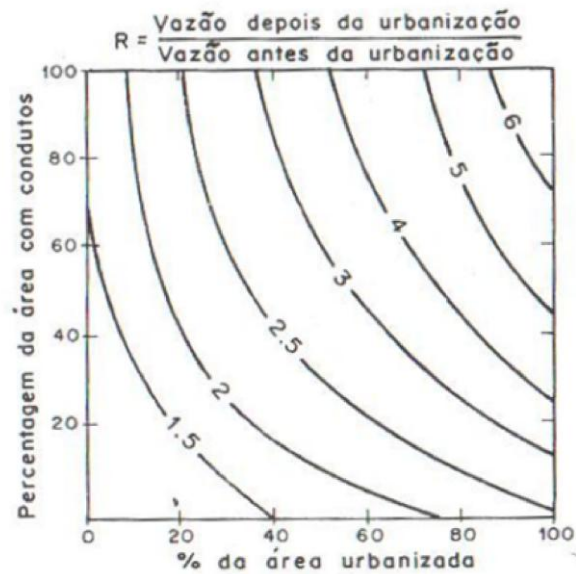


FIGURA 08 – Efeito da Urbanização sobre a vazão média de enchente numa área de 1m^2 .
 FONTE: LEOPOLD, 1968 citado por REBOUÇAS et al., 2006. p. 806.

A alteração de volume de sedimentos lançados nos recursos hídricos é diferente conforme o estágio de desenvolvimento do núcleo urbano. Chin (2006) observa que durante a construção das cidades ocorre a liberação de grande quantidade de sedimentos que são transportados pela chuva para os canais dos rios urbanos trazendo assoreamento e redução de sua calha por entulhamento. Já durante a expansão da cidade, ou seja, quando o núcleo urbano já se encontra consolidado, ocorre uma maior erosão do leito e alargamento do canal. No caso, ambas dinâmicas fluviais geram o agravamento das inundações, pois o assoreamento amplia o nível de cheia dos rios (FIG. 05) e a erosão do leito traz assoreamento a jusante e movimentos de massa nas margens (FIG. 09).

No entanto CHIN (2006) adota apenas duas fases de estágio de evolução da cidade e seus impactos decorrentes sobre os recursos hídricos: Construção ativa e paisagem urbana em crescimento (FIG. 09). Outra abordagem, mais usual, é considerar três fases de desenvolvimento de uma bacia urbana: início da construção, máxima atividade e final das atividades de construção. (REBOUÇAS et al.,2006) (FIG.10).

Fase de Urbanização	Período de Construção	Aumento da Paisagem Urbana
Variáveis do Processo S=Produção de sedimento H= Variáveis Hidrológicas +runoff - tempo de resposta M=Variáveis Morfológicas D=Degradação física + biológica		I,H,M,D
Condição do Canal	Assoreamento da rede de drenagem	Erosão da rede de drenagem
Modificação Morfológica	Redução do canal	Alargamento do canal

FIGURA 09- Fases gerais de urbanização com processo associado de mudança nas condições de canal e ajustamentos de morfologia
 ADAPTADO DE: WOLMAN, 1967 citado por CHIN, 2006. p. 465.

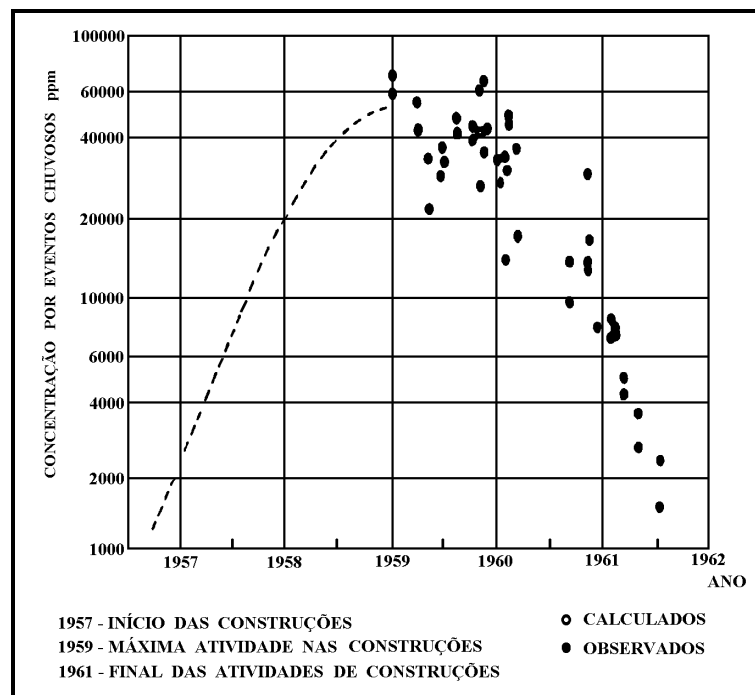


FIGURA 10 – Variação da produção de sedimentos em decorrência da evolução urbana
 FONTE: DAWDY, 1967 citado por REBOUÇAS et al.,2006. p. 407.

Independente das diferentes formas de diferenciar os estágios de construção de uma cidade prevalece a idéia de que o principal impacto é a produção de sedimentos (SUDECAP, 2000 a; REBOUÇAS et al. ,2006), que irá atuar de forma determinante na redução da qualidade da água dos recursos hídricos afetados. No período de construção, graças à construção de ruas, rodovias, casas, equipamentos urbanos em geral, é disponibilizada grande quantidade de sedimentos que são carreados aos rios gerando assoreamento pelo revolvimento e exposição de solo as chuvas.

Após instalada, a cidade gera menos sedimentos, pois estes se encontram recobertos pela infra-estrutura urbana. No entanto, a redução destes é acompanhado pelo crescimento na produção de lixo. Este consegue ser mais prejudicial ao meio ambiente que os sedimentos, já que gera poluição dos recursos hídricos e possui maior capacidade de obstrução da drenagem (REBOUÇAS et al., 2006).

A poluição tende a se agravar junto com a evolução da cidade e aumento de população. Junto com o lixo ocorre o aumento de efluentes sanitários lançados nos cursos d'água gerando a degradação de sua qualidade e a redução da sua diversidade biológica, quando a mesma não é extinta. Apesar das águas apresentarem capacidade de auto-depuração a quantidade de dejetos lançados ultrapassa, e muito, a sua capacidade de regeneração (BRAGA & CARVALHO, 2003).

Outro agravante é a conurbação de cidades ou desenvolvimento de vários centros urbanos em uma bacia. Quando isto acontece a autodepuração das águas que ocorria entre os centros urbanos é inviabilizada e a poluição se dissemina por todo recurso hídrico (FIG. 11).

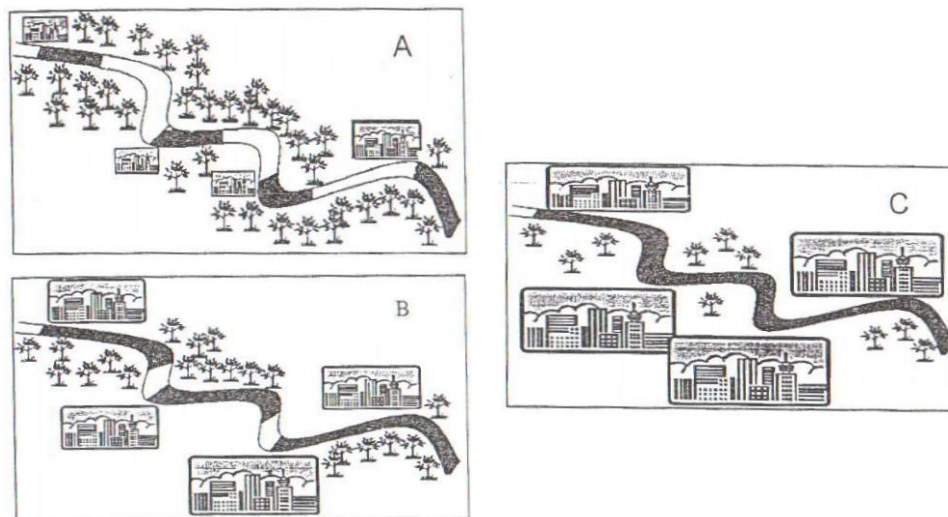


FIGURA 11 – Representação esquemática da urbanização e sua influencia sobre os trechos de poluição de um rio (em preto). Em “A” a situação a 50 anos atrás, em “B” a 10 anos atrás e em “C” situação atual.

FONTE: BRAGA & CARVALHO, 2003, p. 56.

Como descrito, a urbanização traz uma série de impactos ao ciclo hidrológico e aos recursos hídricos, destacando-se: aumento da vazão de cheia, aumento da carga de resíduos sólidos e sedimentos lançados nos rios, gerando assoreamento, redução da qualidade da água e inundações. A impermeabilização se apresenta como o pior agravante as enchentes urbanas, porém outras variáveis secundárias favorecem os casos. Sendo assim, no próximo tópico será analisado com maior profundidade como ocorrem as inundações urbanas suas conseqüências e variáveis ambientais agravantes.

1.3 - As inundações urbanas

As inundações urbanas ocorrem devido a dois processos que atuam de forma conjunta ou isolada, que seriam as “enchentes devido à urbanização” e/ou “enchentes em áreas ribeirinhas”. As “enchentes devido à urbanização” estariam vinculadas as inundações causadas por mau dimensionamento de redes de drenagem, instalação de pontes, aterros, etc de forma a obstruir o escoamento, todos atuando de maneira a produzir pontos de alagamento ou agravando os já existentes (REBOUÇAS et al., 2006).

No caso das enchentes em áreas ribeirinhas, o fenômeno é natural e ocorre quando os cursos d'água ocupam seu leito maior periodicamente, e atingem a população que ali se instalou. Em média essas inundações têm um tempo de retorno da ordem de dois anos (REBOUÇAS et al., 2006).

Nota-se que a ocupação das áreas ribeirinhas ou com propensão à enchente é um dos principais fatores das grandes inundações em área urbana. Grande parte desta ocupação é proveniente da falta de planejamento urbano e do contexto histórico das primeiras ocupações brasileiras, como descreve BRAGA & CARVALHO (2003; p. 24):

“As cidades, no passado, localizavam-se próximas a rios de médio e grande porte, para uso do transporte fluvial. A parcela do leito maior, ocupada pela população, sempre dependia da memória dos habitantes e da frequência com que as enchentes ocorriam. Uma sequência de anos sem inundações é motivo para que a sociedade pressione para ocupar o leito maior do rio.”

As vantagens locacionais de se morar próximo a fonte de abastecimento de água, do diluidor de poluentes e o uso do rio para transporte fluvial foram importantes para que se desse a ocupação das margens, porém o período militar se destaca pelo recrudescimento do processo. A pressão pela ocupação das margens teve seu ápice no período pós-64, quando se inicia no Brasil, o processo de modernização das cidades, com um surto de urbanização em que os fundos de vale (planície de inundações) foram ocupados pelos sistemas viários. Já na década de 70 prevalece a canalização/confinamento dos cursos d'água urbanos e que prossegue até os anos 2000 só que em menor ritmo. Durante esse período foi constatado a intensificação dos impactos e pressões aos recursos hídricos urbanos (BRAGA & CARVALHO, 2003).

Sendo assim, observa-se que grande parte das “enchentes em áreas ribeirinhas” são provenientes da ocupação indevida do homem das áreas naturais de cheia, ou seja não são as águas que invadem a cidade e sim o homem que invade espaços que não deveriam ser ocupados. Outro problema é o aumento do nível de inundação que torna áreas anteriormente seguras susceptíveis ao processo pelos impactos da urbanização (TAB. 02).

Em geral, os impactos da urbanização atuam de forma a agravar as inundações urbanas, em sua maioria elevando o nível de cheia e a vazão de pico dos rios ou reduzindo a capacidade de transporte na calha dos rios e prejudicando as águas pluviais através do assoreamento, seja por sedimentos ou lixo. O amortecimento destes efeitos desencadeados pela urbanização perpassa uma visão integrada do problema, pois os impactos da urbanização são muitas vezes transferidos a jusante (THORNE et al., 1997; TUCCI, 2002; BRAGA & CARVALHO, 2003; REBOUÇAS et al., 2006;).

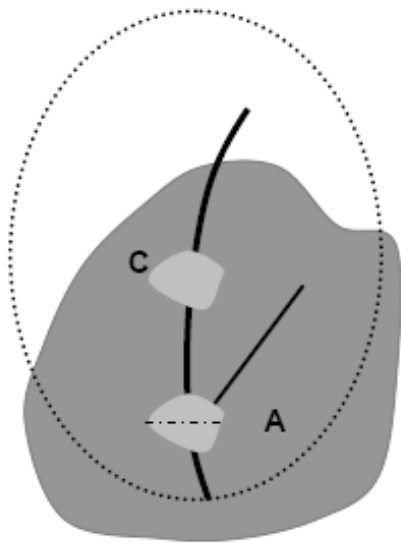
TABELA 02 – Principais Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas

Causas	Efeitos
Impermeabilização	Maiores Picos e Vazões
Redes de Drenagem	Maiores Picos a Jusante
Lixo	Degradação da Qualidade das águas Entupimento de bueiros e galerias
Redes de Esgotos deficientes	Degradação da Qualidade das águas Moléstias de veiculação hídrica Inundações: conseqüências mais sérias
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores Picos e Volumes Mais Erosão Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação das Várzeas	Maiores prejuízos Maiores picos Maiores custos de utilidades públicas

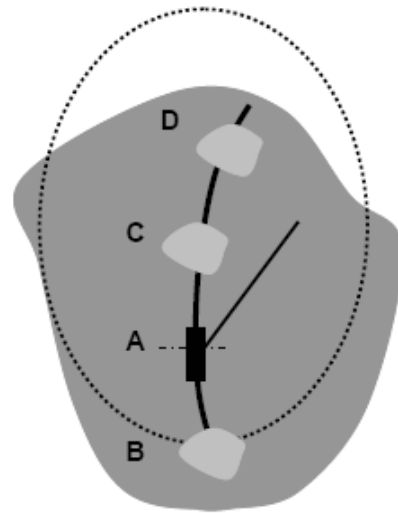
FONTE: TUCCI, 2002. p. 807

TUCCI (2000) sintetiza como a urbanização e seus impactos são transferidos para jusante quando tratadas de forma pontual. Outro problema decorrente da simplificação do problema é a redução da eficiência das medidas de drenagem urbana¹³ implantadas (FIG. 12).

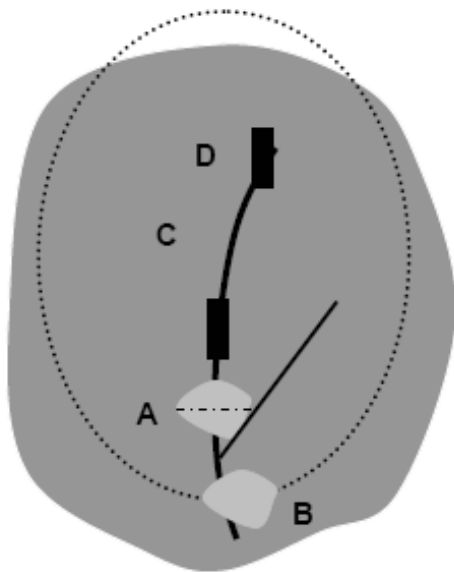
¹³ A drenagem urbana pode ser entendida como “o conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”(TUCCI, 2002; p. 805).



A - Estágio 1

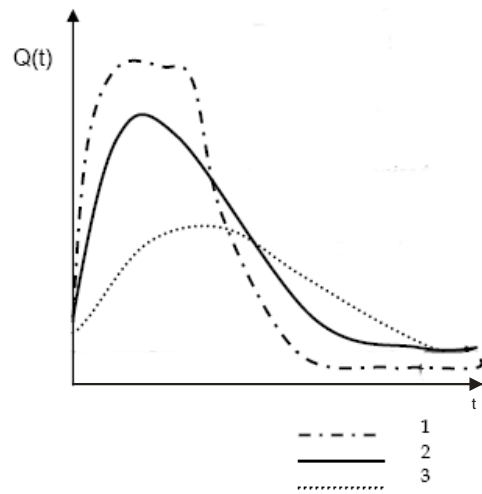


B - Estágio 2



A - Estágio 3

C



D- Hidrograma da seção A

LEGENDA



Canal



Urbanizado



Inundação

FIGURA 12 – Estágios de desenvolvimento de uma bacia hidrográfica e impacto das medidas de controle de enchente
 FONTE: TUCCI, 2000. p. 163.

Como demonstra o autor a urbanização evolui de jusante para montante na bacia hidrográfica (TUCCI, 2000; TUCCI, 2002) tendo a ocupação das áreas elevadas o papel de iniciar os problemas de inundação no núcleo inicial da ocupação. Para solucionar o problema o rio é canalizado nesta área, permitindo o amortecimento das inundações neste local (FIG. 13 A), porém há o surgimento de novo ponto de inundação a jusante (FIG. 12 B).

A ocupação das áreas do médio e alto curso da bacia continua conforme se processa a expansão urbana. Com vistas a solucionar as inundações em tais regiões da bacia ocorre a canalização dos córregos, sobrecarregando a macrodrenagem das áreas de jusante dentre elas o núcleo inicial da cidade, que já possuía o curso d'água canalizado, mas pelo aumento do volume de água escoado no rio no período de chuvas, volta a sofrer inundações (FIG. 12 C). Como resultado do tratamento pontual das inundações, e mesmo o não planejamento da ocupação de uma bacia, o controle de enchentes torna-se cada vez mais caro e ineficiente, além da descrença gerada na população pela ineficiência das medidas de amortecimento implementadas.

As medidas de amortecimento de inundação tornam-se assim importantes instrumentos de proteção da população as inundações urbanas, no entanto sua eficácia se encontra relacionada ao contexto físico da bacia, seu uso e ocupação do solo, recursos financeiros do Estado, entre outros. No próximo tópico será discutido quais são essas medidas de controle aplicadas para solução das inundações, suas vantagens e desvantagens e discutir como questões sócio-econômicas são importantes para sua efetividade.

1.4 - As medidas de amortecimento das inundações urbanas

As medidas para controle de cheias em áreas ribeirinhas podem ter duas abordagens com bases de ação completamente diferentes, porém muitas vezes complementares, podendo ser definidas, quanto a sua característica, em estruturais ou não-estruturais (TUCCI, 2002; REBOUÇAS et al., 2006).

As medidas estruturais são ações de controle de enchentes baseadas em obras de engenharia podendo ser subdivididas em intensivas ou extensivas, conforme o espaço sobre intervenção (TUCCI, 2002; REBOUÇAS et al., 2006). As medidas intensivas agem diretamente sobre a calha do rio tentando solucionar o problema de inundação localmente podendo ser classificados em três tipos de ações de tentativa de controle da vazão (SIMONS et al., 1977 citado por TUCCI, 2002):

1. Aceleração do escoamento: dentre eles se destacam a construção de diques (FIG. 13) e polder, canalização de córregos, corte de meandros, entre outros, sempre gerando uma drenagem mais rápida das águas pelo rio.
2. Retardamento do escoamento: compreende as obras de engenharia que buscam reter parte das águas pluviais ou fluviais de forma a reduzir as vazões na calha do rio a jusante (FIG. 14). Abarcam os reservatórios e as bacias de amortecimento.
3. Desvio do escoamento: abarca as obras de desvio de parte da vazão do rio sendo os canais de desvio o exemplo mais marcante.

O grande problema das medidas estruturais é sua visão restrita do problema, pois se o mesmo não estiver abarcado em um planejamento maior da bacia pode trazer graves problemas às áreas a jusante das obras. Outro aspecto é o intenso impacto que trazem a calha fluvial e seu ecossistema. Na TAB. 03 e 04 são expostas as principais medidas estruturais, suas vantagens e desvantagens, além de onde alcançam melhor resultado.

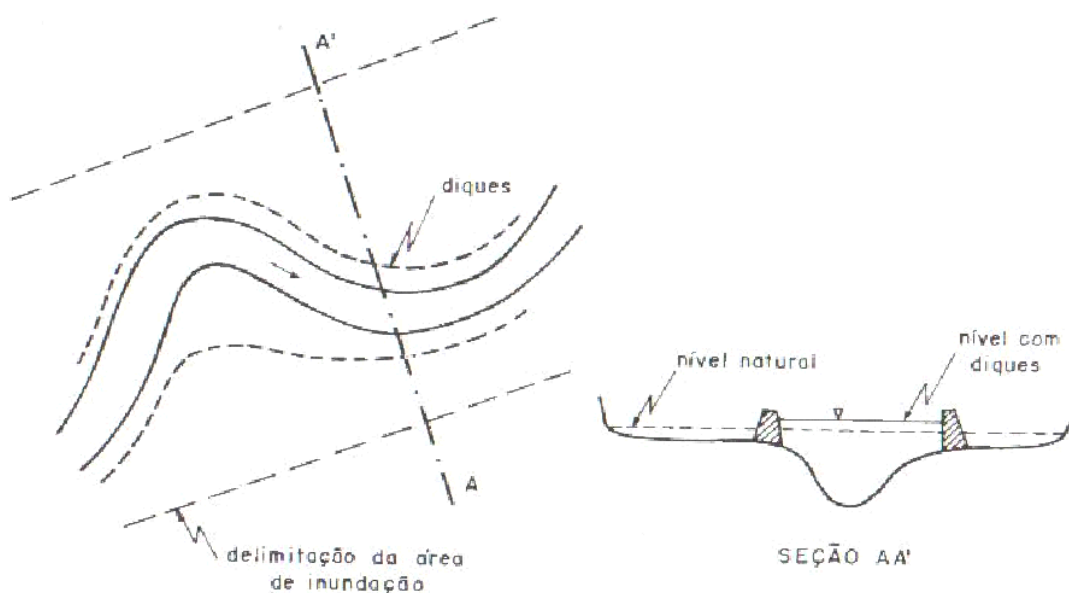


FIGURA 13 – Ilustração do sistema de diques e aumento do nível decorrente de sua implantação, podendo gerar maiores impactos caso falhe
 FONTE: TUCCI, 2002.p.634.

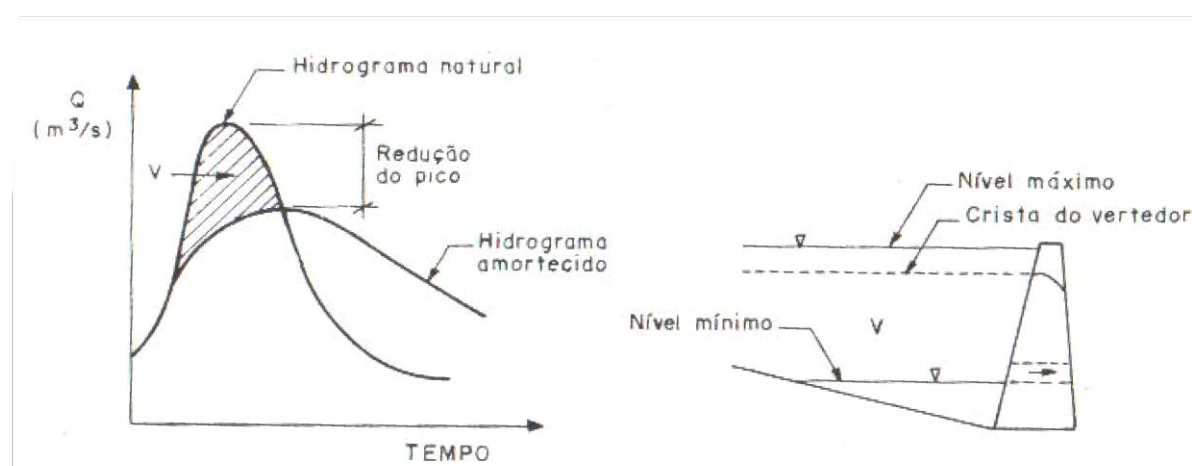


FIGURA 14 – Amortecimento do Hidrograma de um rio pela implantação de reservatório e síntese de seu funcionamento.
 FONTE: TUCCI, 2002.p.631.

TABELA 03 – Medidas Estruturais extensivas

Medida	Principal Vantagem	Principal Desvantagem	Aplicação
Cobertura Vegetal	Redução do pico de cheia	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias
Controle de perda de solo	Reduz assoreamento	Impraticável para grandes áreas	Pequenas bacias

ADAPTADO DE: SIMONS et al., 1977 citado por TUCCI, 2002.p. 628.

TABELA 04 – Medidas Estruturais intensivas

Medida	Principal Vantagem	Principal Desvantagem	Aplicação
Diques e Polders	Alto grau de proteção de uma área	Danos significativos caso falhe (FIG. 13)	Grandes rios
Melhoria do canal:			
Redução da rugosidade por desobstrução	Aumento da vazão com pouco investimento	Efeito localizado	Pequenos rios
Corte de meandro	Amplia a área protegida e acelera o escoamento	Impacto negativo em rio com fundo aluvionar	Área de inundação estreita
Reservatórios			
Todos os reservatórios	Controle a jusante	Localização difícil	Bacias intermediárias
Reservatórios com comportas	Mais eficiente com o mesmo volume	Vulnerável a erros humanos	Projetos de usos múltiplos
Reservatórios para cheias	Operação com o mínimo de perdas	Custo não partilhado	Restrito ao controle de enchentes
Mudança de canal:			
Caminho da cheia	Amortecimento de volume	Depende da topografia	Grandes bacias
Desvios	Reduz vazão do canal principal	Depende da topografia	Bacias médias e Grandes

FONTE: SIMONS et al., 1977 citado por TUCCI, 2002.p. 628.

A medida estrutural mais polêmica e mais utilizada na realidade brasileira, e também no caso de Belo Horizonte¹⁴, é a canalização de rios. Esse tipo de intervenção estrutural intensiva altera completamente a dinâmica natural do rio e a sua própria morfologia. A morfologia dos rios se adéqua às características de vazão e carga sedimentar que estão submetidos em sua bacia. A canalização altera completamente as duas variáveis gerando uma maior rapidez no escoamento das águas, ao aumentar o gradiente dos rios, e o transporte de sedimentos, sobretudo no período das chuvas. Esse excesso de matéria e energia serão transmitidos pelo rio até o mesmo encontrar um trecho fluvial não canalizado, ocorrendo nesse local o gasto da energia da água na erosão das margens ou perda da mesma pelo fim do confinamento da água, sendo a matéria em transporte depositada em

¹⁴ A canalização se instaura como método de controle de cheias em Belo Horizonte desde o planejamento da cidade, final do século XIX (FJP, 1997), havendo a institucionalização de novas abordagens ao problema apenas em 2003, após a implantação do DRENURBS (Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale dos córregos em Leito Natural de Belo Horizonte) (MACEDO, 2009), perpassando um período de aproximadamente 100 anos de tentativas de resolução das enchentes com medidas estruturais.

larga escala. A inundação que ocorria em um trecho de rio a montante é transferida para outro trecho à jusante, criando novo local de inundação (VERSTAPPEN, 1983, THORNE et al., 1997).

Outro problema das canalizações é o alto custo de construção e, sobretudo, da manutenção (WARD & TRIMBLE, 1995). Segundo Tucci et al. (2001), a restauração da capacidade de escoamento ou alargamento de um trecho canalizado, em local onde as margens se encontram completamente ocupadas, tem custo próximo a US\$ 50 milhões/km, podendo ser ainda mais alto dependendo do tipo de sub-solo, largura final, material de revestimento das paredes e fundo, etc.

Muitas vezes o custo de construção da canalização é em muito inferior aos custos de manutenção que são consideráveis, de alta frequência e de longo período. Isto graças à obra ir contra as características físicas da bacia e seu condicionamento sobre a dinâmica dos rios, pois como explicita Braga & Carvalho (2003, p. 25) “a natureza transformada, tende a voltar ao seu estado natural e quanto mais trabalho, matéria e energia forem necessárias para a construção das cidades, mais trabalho, matéria e energia será preciso para a conservação”.

A dragagem e o próprio aprofundamento do canal durante sua construção têm impactos também sobre os demais recursos hídricos da bacia. As alterações no nível de base local pelo excessivo assoreamento ou aprofundamento geram instabilidade a toda a área a montante podendo gerar processos de assoreamento ou erosão generalizada dos canais (SCHUMM & MOSLEY, 1973; THORNE et al., 1997). Esse distúrbio sobre os rios pode se propagar por muitos quilômetros a jusante (VERSTAPPEN, 1989) e durar de anos a décadas de acordo com o grau de intervenção.

Ainda no caso das medidas estruturais, os reservatórios e bacias de amortecimento se destacam como uma boa solução, pois os mesmos buscam restabelecer o tempo de concentração da água perdido durante a urbanização da bacia. Estes são utilizados para o controle da vazão máxima, reduzindo o pico de jusante, e controlando o volume, permitindo o tratamento de águas contaminadas ou poluídas¹⁵ (REBOUÇAS et al., 2006).

¹⁵ As Estações de Tratamento de Esgoto tem limitações que exigem que o volume de água seja armazenado para seu tratamento, surgindo a necessidade de implantação de reservatórios para seu controle

Para o caso da pesquisa, a compreensão das vantagens e desvantagens dos reservatórios e bacias de amortecimento é importante, pois foi implantado duas barragens de contenção de enchentes em Belo Horizonte, nas bacias do Córrego do Leitão e Acaba-Mundo, que apesar de sua maior possibilidade de eficiência no amortecimento de cheias não repercutiu em melhorias significativas pela ausência de medidas não-estruturais que salvaguardassem sua função de contenção de águas pluviais.

Tanto os reservatórios de amortecimento quanto as canalizações têm pouca efetividade se implantadas de maneira isolada, sendo necessária a sua associação com as medidas não-estruturais. Estas são definidas como medidas que buscam preparar a população a conviver com as enchentes, sendo mais efetiva e tendo menores custos, em geral, que as medidas estruturais.

As medidas não-estruturais foram identificadas por JOHNSON (1978 citado por TUCCI, 2002; p. 629) como sendo:

“[...] instalação de vedação temporária ou permanente nas aberturas das estruturas, elevação de estruturas existentes, construção de novas estruturas sob pilotis, construção de pequenas paredes ou diques circundando a estrutura, relocação ou proteção de artigos que possam ser danificados dentro da estrutura existente, relocação de estruturas para fora da área de inundação, uso de material resistente à água ou novas estruturas, regulamentação da ocupação da área de inundação por cercamento, regulamentação de subdivisão e código de construção, compra de áreas de inundação, seguro de inundação, instalação de serviço de previsão e de alerta de enchente com plano de evacuação, adoção de incentivos fiscais para um uso prudente da área de inundação; instalação de avisos de alerta na área e adoção de políticas de desenvolvimento”.

Todas estas medidas não-estruturais citadas podem ser agrupadas em: construções à prova de enchentes, regulamentação do uso da terra, seguro de enchente e previsão e alerta de inundação (TUCCI, 2002).

As construções à prova de enchentes consistem em adaptar as estruturas urbanas (como prédios, por exemplo) às inundações com vistas a reduzir prejuízos econômicos (TUCCI, 2002). Apesar de sua grande efetividade no amortecimento das inundações urbanas não há relatos de sua implantação pela Prefeitura de Belo Horizonte.

A regulamentação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis (FIG. 15) consiste em se conhecer o risco de inundação da planície e assim determinar o seu uso. Como consequência, nas áreas de maior risco é impedida a construção de residências, e sua utilização se restringem a áreas de recreação de baixo investimento de implantação e com infra-estrutura que permita pequenos prejuízos quando da ocorrência do fenômeno, como por exemplo parques e campos de esporte. Já no caso de cotas de menor risco permite-se a construção, porém com recomendações especiais. Os resultados da regulamentação devem estar compreendidos no interior do Plano Diretor da cidade (TUCCI, 2002).

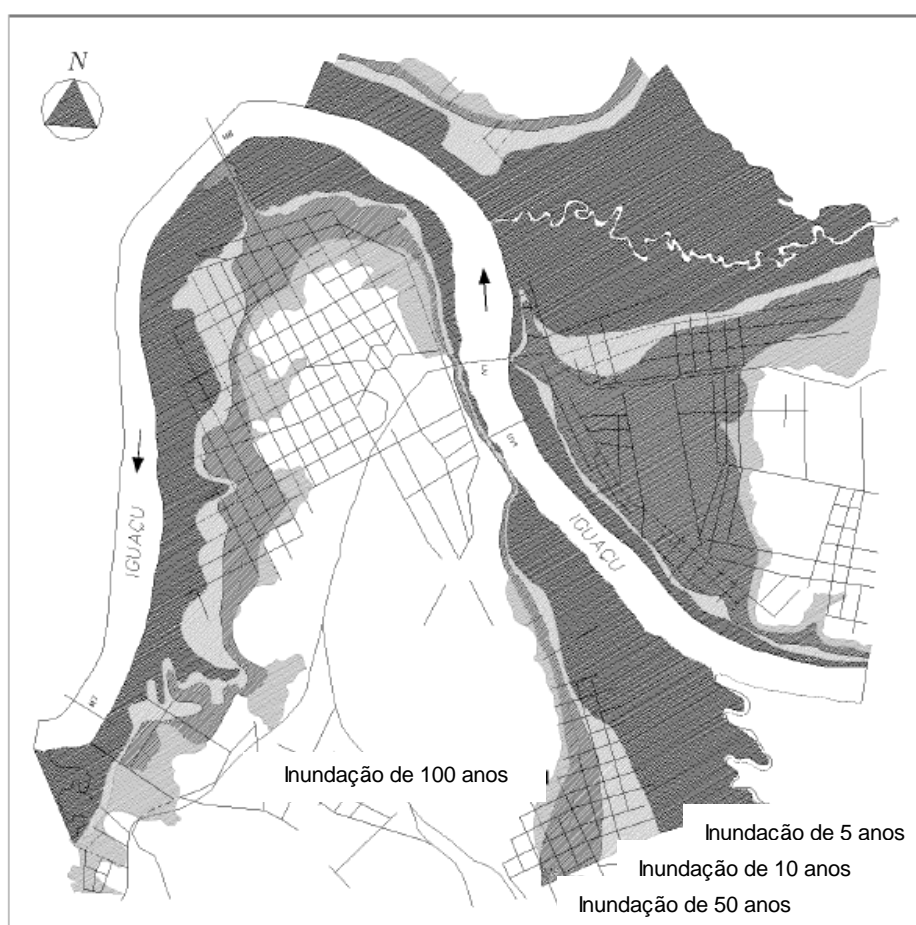


FIGURA 15 – Zoneamento das áreas inundáveis de União da Vitória e Porto Vitória/PR
ADAPTADO DE: TUCCI & VILLANUEVA, 1997. p. 181.

O seguro de enchente traz uma proteção econômica aos habitantes das áreas inundáveis ao ressarcir as perdas eventuais com as cheias. Outro tipo de proteção ao cidadão em áreas de risco é a previsão e alerta de enchentes que consiste em se utilizar imagens de sensores remotos ou modelos matemáticos para se prever a ocorrência de inundações. Após a constatação do perigo, a Defesa Civil é avisada e toma ações para reduzir as perdas

individuais e coletivas da população, seja através da retirada dos moradores ou aconselhando a desocupação do primeiro piso dos imóveis (TUCCI, 2002).

As medidas até então descritas, sejam estruturais ou não-estruturais se referem à análise de bacia ou de macroescala, porém há outras formas de abordagem que tentam reduzir as inundações através de ações em nível de indivíduo/propriedades (denominada comumente controle na fonte ou distribuída¹⁶) ou loteamentos (REBOUÇAS et al., 2006).

Em menores níveis as ações são, sobretudo, voltadas ao armazenamento, aumento de infiltração, percolação e eficiência do escoamento da água pluvial (REBOUÇAS et al., 2006). Muitas dessas ações foram consideradas por WARD & TRIMBLE (1995) como Melhores Práticas de Manejo¹⁷. As Melhores Práticas de Manejo são parte de orientações da Ohio State University Extension para o planejamento do manejo das águas da chuva.

Foram determinadas 11 orientações principais, a saber (WARD & TRIMBLE, 1995, p. 354):

1. “Considerar o impacto total sobre o sistema ambiental
2. Considerar a qualidade da água assim como sua quantidade
3. Minimizar a quantidade de área impermeável criada.
4. Ser consistente com o Plano de Uso do Solo e Planos de Gerenciamento da bacia hidrográfica em estudo.
5. Coordenar práticas de gerenciamento da água da chuva com medidas de controle de erosão e proteção de aquíferos.
6. Minimizar distúrbios no equilíbrio natural e na vegetação e considerar a topografia local nos sistemas de drenagem, quando adequado.
7. Preservar áreas naturais vegetadas, principalmente, as margens de corpos d’água e áreas alagadiças.
8. Maximizar a infiltração do escoamento superficial não poluído nos solos apropriados.
9. Reduzir o pico de vazão para minimizar a erosão dos solos, instabilidade do canal fluvial, inundações e destruição de habitat.
10. Usar áreas alagadiças e corpos d’água para receber ou tratar o escoamento superficial somente quando é certo que esses sistemas naturais não irão ser sobrecarregados ou degradados.
11. Providenciar um cronograma de manutenção para práticas de manejo, incluindo designação de responsabilidades de manutenção.”

¹⁶ Partindo-se do nível de ação de maior escala (Controle na fonte ou distribuída) parte-se para os níveis de ação intermediários (Controle na microdrenagem) para o de menor escala (Controle na macrodrenagem)

¹⁷ BMPs ou Best Management Practices em inglês (WARD & TRIMBLE, 1995).

Além dos 11 princípios o manejo das águas pluviais também seria baseado no Controle, Armazenagem, Condução e Limpeza¹⁸. As medidas de controle seriam medidas preventivas que reduzem o escoamento superficial e sua poluição. A Coleta e a Limpeza estariam conjugadas estando pautadas na construção de bacias de retenção tanto para redução de picos de cheia quanto para o tratamento da água. Já a condução estaria ligada aos sistemas que transfeririam o escoamento superficial para sua armazenagem e tratamento bem como a conexão das bacias de retenção com os corpos d'água naturais. A descrição da estratégia (ou múltiplas estratégias) citadas para gerenciar o escoamento superficial é usualmente denominado Melhores Práticas de Manejo (Best Management Practice – BMP) podendo ser utilizados tanto no manejo da água da chuva, como também da prevenção de sua poluição

TABELA 05 – Exemplos de Melhores Práticas de Manejo das Águas das Pluviais Urbanas para o seu tratamento

Estratégia	Melhores Práticas de Manejo (BMP)
Redução das superfícies impermeáveis	Planejamento de ruas, estacionamentos e ruas sem saída; telhados verdes (vegetados)
Controle da Erosão dos solos	Encobrimento do solo por material orgânico resistente à intempéries, como serragem, palha e folhas de forma a evitar o contato direto da chuva com o solo; rede de cordas ou cabos de aço para reter os sedimentos de serem espalhados; métodos vegetacionais; métodos estruturais; bacias/armadilhas de sedimentos; etc.

ADAPTADO DE: WARD & TRIMBLE, 1995. p. 355.

TABELA 06 – Exemplos de Melhores Práticas de Manejo das Águas das Pluviais Urbanas para o seu tratamento de sua poluição

Estratégia	Melhores Práticas de Manejo (BMP)
Sistemas de Infiltração	Bacias de percolação; Valas de Infiltração;
Sistemas de Filtração	Sistemas de Bioretenção
Construção de Areas Alagadiças	Areas alagadiças; Pântanos úmidos
Sistemas de Retenção	Reservatórios com lâmina d'água; reservatórios de capacidade extendida;
Sistemas de Detenção	Reservatórios secos; separadores de graxa/óleo
Controles estruturais de fluxo	Entrada permeável de água; trincheiras ou valas permeáveis; meio fio permeável.

ADAPTADO DE: WARD & TRIMBLE, 1995. p. 355.

¹⁸ Control, Colect, Conveyance and Cleansing no original (WARD and TRIMBLE, 1995).

No entanto, há outras formas de abordagem dos problemas de inundação urbana, além das medidas estruturais e não-estruturais, melhores práticas de manejo e da perspectiva física dos problemas. A abordagem de BRAGA & CARVALHO (2003) é a de observar quais seriam as causas fundamentais das inundações urbanas expostas como de cunho sociológico.

Ao discorrer sobre o processo de produção do espaço urbano, uso e ocupação do solo, desenho urbano, saneamento básico, habitação de interesse social, resíduos sólidos, áreas verdes, educação ambiental e cívica, administração municipal e planejamento regional e os impactos sobre os recursos hídricos, BRAGA & CARVALHO (2003) demonstra como a base capitalista da economia é importante fator de comprometimento da relação Homem x Natureza nas cidades.

A desnaturalização do meio ambiente e a ótica de desenvolvimento de curto prazo com vistas ao lucro são a principal causa desse distanciamento do homem com a natureza. A engenharia evidenciaria esse imediatismo da sociedade, pois atua localmente sem levar em conta o espaço urbano como um todo, podendo ser até os dias atuais considerada “tradicional”. O lucro estaria evidenciado na relação do homem com a terra, sendo esta “uma mercadoria sem a devida regulação do Estado” (BRAGA & CARVALHO, 2003; p. 27).

O uso e ocupação do solo urbano seria ineficiente, pois o viés de ocupação é o econômico não o ambiental, como descreve BRAGA & CARVALHO (2003, p. 27):

“A terra, como mercadoria, torna a natureza apenas um insumo da produção do espaço urbano podendo sofrer tantas modificações quantas necessárias para realizá-la como tal. Assim ocupa-se áreas inadequadas e aumenta-se a produtividade do solo. O uso (atividades que impactam diferencialmente o meio e as águas) e o padrão de ocupação (intensidade de utilização horizontal e vertical) são definidos pelo lucro privatizado.”

O mesmo ocorreria com o desenho urbano das cidades em que as características físicas não são abarcadas durante sua construção e os impactos ambientais são considerados um problema a ser resolvido pela engenharia urbana *a posteriori*.

No caso do saneamento básico, os rios são sempre o destino dos efluentes urbanos lançados in natura, no caso das águas pluviais, sua drenagem é negligenciada, sempre vista como passível de resolução pela engenharia urbana tradicional.

Outro problema levantado por Braga & Carvalho (2003) e importante ao caso das inundações urbanas, são as habitações de interesse social. Em muito dos casos a ocupação das planícies de inundação é feita por população de baixa renda que, todos os anos, sofrem com a perda de bens e em muitos casos com a perda de vidas. A ocupação de tais áreas é reflexo da população de baixa renda ser desfavorecida na repartição da riqueza socialmente distribuída não tendo acesso ao mercado legalizado de terras, onde as residências têm acesso a infra-estrutura e condições adequadas de vida. Decorre disto a consideração feita por TUCCI (2002) da necessidade de ocupação dos espaços desapropriados por risco de enchente, pois ao retirar a população do local, outra se instala caso não seja dado um uso público a área.

A atribuição pública a um espaço também não seria a solução definitiva ao problema da ocupação. As áreas verdes, principalmente, estariam sujeitas ao mercado de terras exercendo a valorização do terreno. A valorização gera pressão sobre o espaço repercutindo na sua ocupação ou adensamento urbano. Como consequência, os índices de impermeabilização das cidades aumenta.

Sendo assim, as inundações urbanas mostram o quão complexo é sua solução, seja em seu aspecto físico ou sociológico, tendo muitos dos condicionantes físicos gênese nos hábitos e ideologias da sociedade que vive na área urbana.

Compreendendo as diversas variáveis físicas e humanas envolvidas na gênese das inundações em área urbana e como as intervenções implementadas pelo Estado para seu controle podem amortecer ou mesmo agravar o problema, no próximo tópico dar-se-á início ao conhecimento da área em estudo, a Bacia do Rio Arrudas/MG, tentando identificar, como algumas dessas variáveis influenciam nas recorrentes inundações que perpassam toda a história do município de Belo Horizonte.

2. A BACIA DO RIO ARRUDAS/MG: CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA

2.1 Características Gerais

O município de Belo Horizonte se encontra localizado na região sudeste do Brasil exercendo a função de capital do Estado de Minas Gerais. Em seus limites administrativos são encontradas três bacias hidrográficas: Arrudas, Onça e Rio das Velhas (FIG. 16). A bacia do Arrudas se destaca por abarcar 43% do território de Belo Horizonte, 35 % de Contagem e 5% do município de Sabará (TAB. 07). A importância da Bacia do rio Arrudas sobressai tanto por sua dimensão, pois abrange quase metade do território municipal, quanto por drenar o sítio inicial da cidade de onde irradiou a expansão urbana do município.

TABELA 07 – Bacias Hidrográficas e suas dimensões nos municípios de Contagem, Belo Horizonte e Sabará

Município	Curso d'água	Área (km ²)	Percentual (%)	Total (km ²)
Contagem	Arrudas	28,96	35	82,41
	Onça	53,45	65	
Belo Horizonte	Arrudas	163,70	43	382,38
	Onça	208,18	54	
	Rio das Velhas	10,50	3	
Sabará	Arrudas	15,10	5	15,10

FONTE: SUDECAP, 2000 b, p. 11.

A nascente do rio Arrudas se encontra localizada no município de Belo Horizonte na Serra do Cachimbo, sendo seu leito principal formado pela confluência dos córregos Água Branca (proveniente do município de Contagem) e Barreiro (município de Belo Horizonte) (SUDECAP, 2000 a). Quanto a suas dimensões o rio tem extensão aproximada de 44 km sendo que 37,6 km estão inseridos no município de Belo Horizonte. A bacia do rio Arrudas possui área total de 207,76 km², estando sua maior parte inserida no município de Belo Horizonte (FIG.16).

Durante seu percurso o rio Arrudas recebe a contribuição de 44 afluentes, sendo 23 em sua margem direita e 21 à margem esquerda, distribuídos em Belo Horizonte (29), Contagem (03) e Sabará (12) (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 b). Destaca-se a importância dos afluentes da margem direita, por sua extensão, grau de ocupação e declividade do relevo, nos estudos de inundação na bacia hidrográfica.

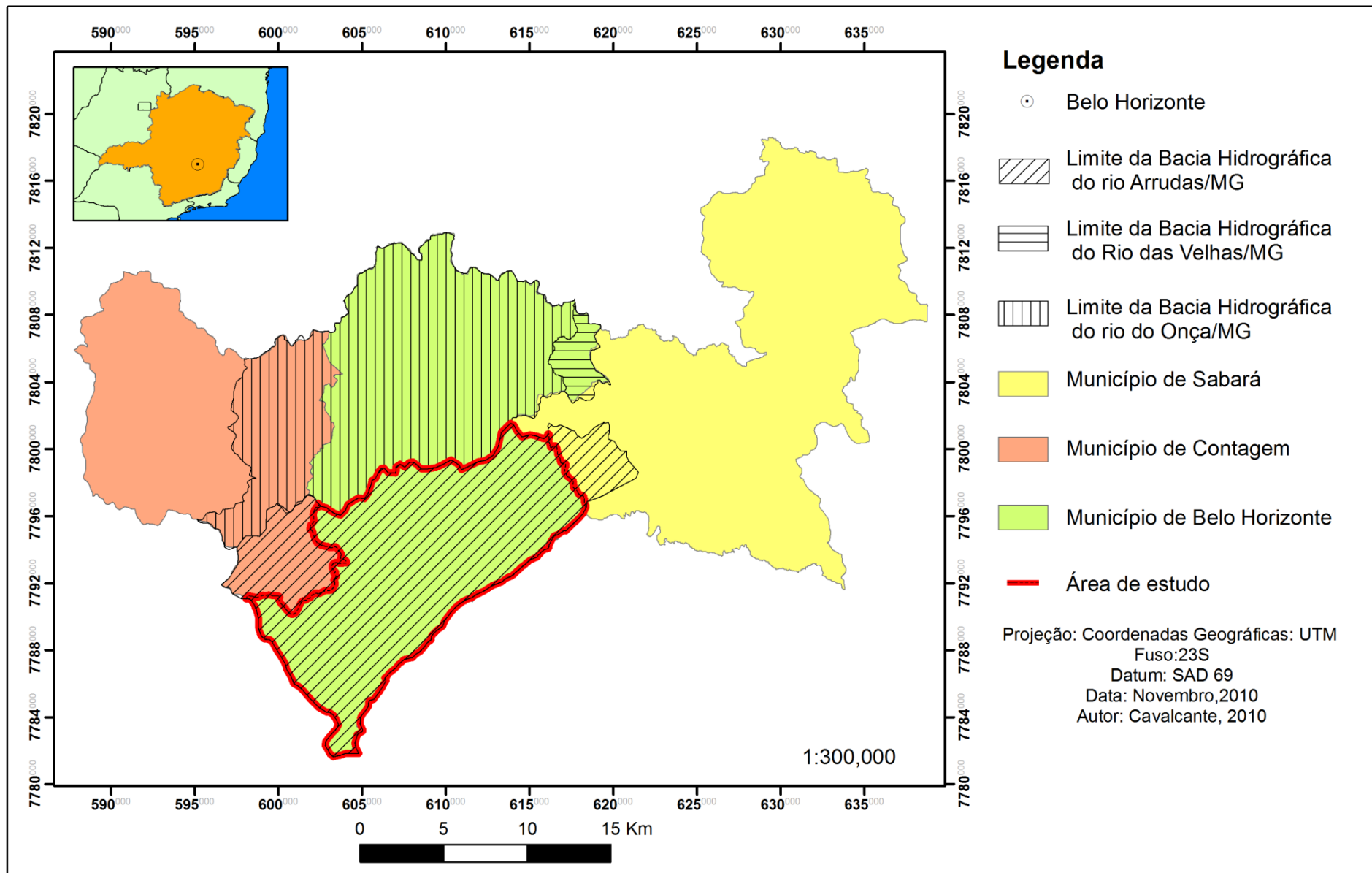


FIGURA 16 – Município de Belo Horizonte: suas bacias hidrográficas e localização da área de estudo
 ADAPTADO DE: GEOMINAS, 1995; PRODABEL, 2005

A margem direita, mais extensa, e a margem esquerda restrita demonstram a assimetria natural apresentada pela bacia. Esta é proveniente da diferente susceptibilidade das rochas da área ao intemperismo. Como ressaltam Schumm e Mosley (1973), a assimetria de uma bacia é resposta a diferentes taxas de intemperismo dos lados do vale e, no caso do rio Arrudas, esta diferença advém da margem esquerda ser constituída por granitos-gnaisses (rochas mais friáveis), condicionando um relevo de colinas côncavo-convexas, e a margem direita pelos metassedimentos do supergrupo Minas, apresentando algumas rochas com forte resistência ao intemperismo, tornando o relevo acidentado (RODRIGUES, 1987).

O relevo assim caracterizado imprime às chuvas um forte caráter orográfico, estando à precipitação concentrada nas cristas da Serra do Curral (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 b). Quanto as característica hidrológicas, o rio Arrudas apresenta declividade de 7 m/km o que condiciona uma alta velocidade das águas do rio, condizendo com o relevo acidentado em que a bacia se encontra (SUDECAP, 2000 b).

Com relação aos impactos antrópicos sobre o recurso hídrico, se destaca as canalizações e degradação da qualidade da água. A extensão dos cursos fluviais canalizados, abertos ou já confinados, no rio Arrudas para os municípios de Belo Horizonte e Contagem no ano de 2000, apresentava valores elevados perfazendo cerca de 29 % da rede de drenagem total (TAB. 08).

TABELA 08 – Comprimento de canais fluviais canalizados na bacia do Rio Arrudas nos municípios de Contagem e Belo Horizonte

Bacia	Características	Comprimento (Km)
Arrudas	Não Canalizado	283
	Canalizado (Aberto+ Fechado)	113,5
Total		396.5

FONTE: SUDECAP, 2000 b. p. 12.

Com relação à qualidade da água, fica evidente a grande degradação ambiental que o rio Arrudas e seus afluentes apresentam, sendo o primeiro considerado em 1984 pelas autoridades de saúde pública como um verdadeiro “esgoto a céu aberto” e, sendo que, foi denunciado pelo professor Manoel Marques da Fonseca em 1951 que 2/3 da vazão do rio Arrudas eram constituídos pelos esgotos da cidade (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1984).

Atualmente, pode-se facilmente observar o quão degradado e impactado se encontra o ambiente na bacia do Rio Arrudas. Apesar disso, o mesmo é recordado pela população apenas no período das chuvas, quando ocorrem tragédias ambientais como as inundações em áreas urbanas. Sendo assim, iniciaremos a descrição das principais condicionantes ambientais às inundações para depois identificar como foi e tem sido essa relação da cidade de Belo Horizonte com o seu meio ambiente.

2.2 Geologia

A geologia da bacia do rio Arrudas pode ser considerada complexa e bastante diversificada, pois se encontra parcialmente inserida na região denominada na literatura como Quadrilátero Ferrífero (FIG 17) (SILVA et al., 1995). Já o complexo basal indiferenciado, formado por granitóides e migmatitos, é inserido no domínio geotectônico maior denominado Cráton São Francisco (SUDECAP, 2000 a).

O Quadrilátero Ferrífero é constituído por quatro grandes unidades pré-cambrianas (SILVA et al., 1995, p. 21) (FIG. 17):

- “Complexo granito-gnáissicos de idade arqueana
- Sequências Vulcano-sedimentares arqueanas, do tipo Greenstone-belts do Supergrupo rio das Velhas
- Sequências paleoproterozóicas do Supergrupo Minas
- Metassedimentos terrígenos do Grupo Itacolomi.”

Na bacia do rio Arrudas são encontrados o complexo Belo Horizonte, formado por rochas granito-gnáissicas, o supergrupo Minas, representado pelos grupos Sabará, Piracicaba e Itabira, as formações Quaternárias/terciárias como aluviões antigos e depósitos colúvio-aluviais, e as rochas intrusivas (FIG. 18).

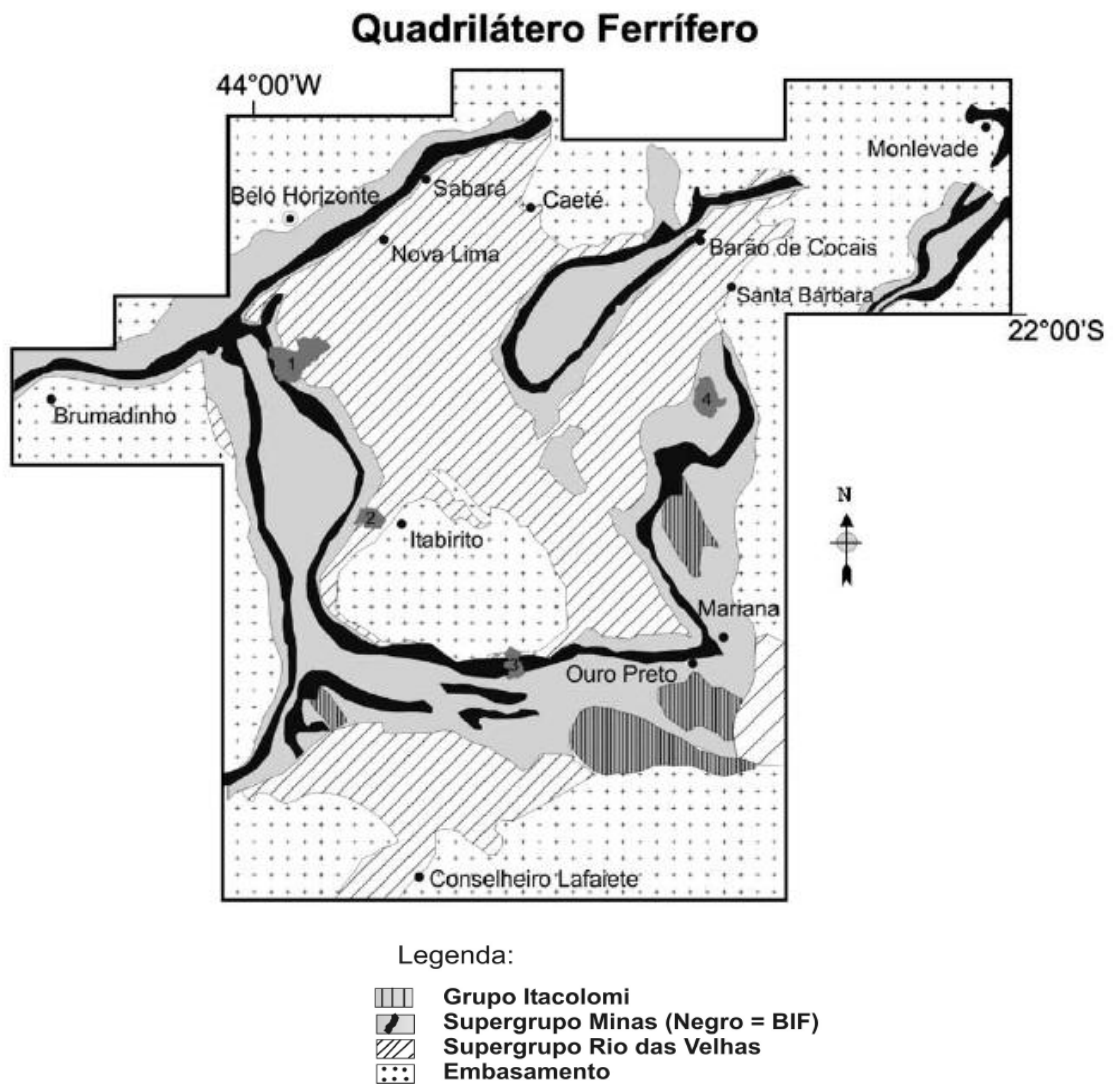


Figura 17 – Visão geral do Quadrilátero Ferrífero e principais formações litológicas
 FONTE: SALGADO et al., 2004. p. 314.

O complexo granito-gnáissico é constituído por rochas arqueanas, principalmente gnaisses tonalíticos a granodioríticos, migmatizados ou não (SILVA, 1995). MACHADO et al.(1992) dataram as rochas através de U-Pb e indicaram um período de formação de 3200 a 2600 Ma. O complexo recebe nome específico em alguns locais de acordo com sua característica. O embasamento que ocorre em Belo Horizonte foi denominado Complexo Belo Horizonte por NOCE et al. (1994) e os gnaisses cinzentos com bandamento composicional e feições de migmatização, foi denominado Gnaiss Belo Horizonte.

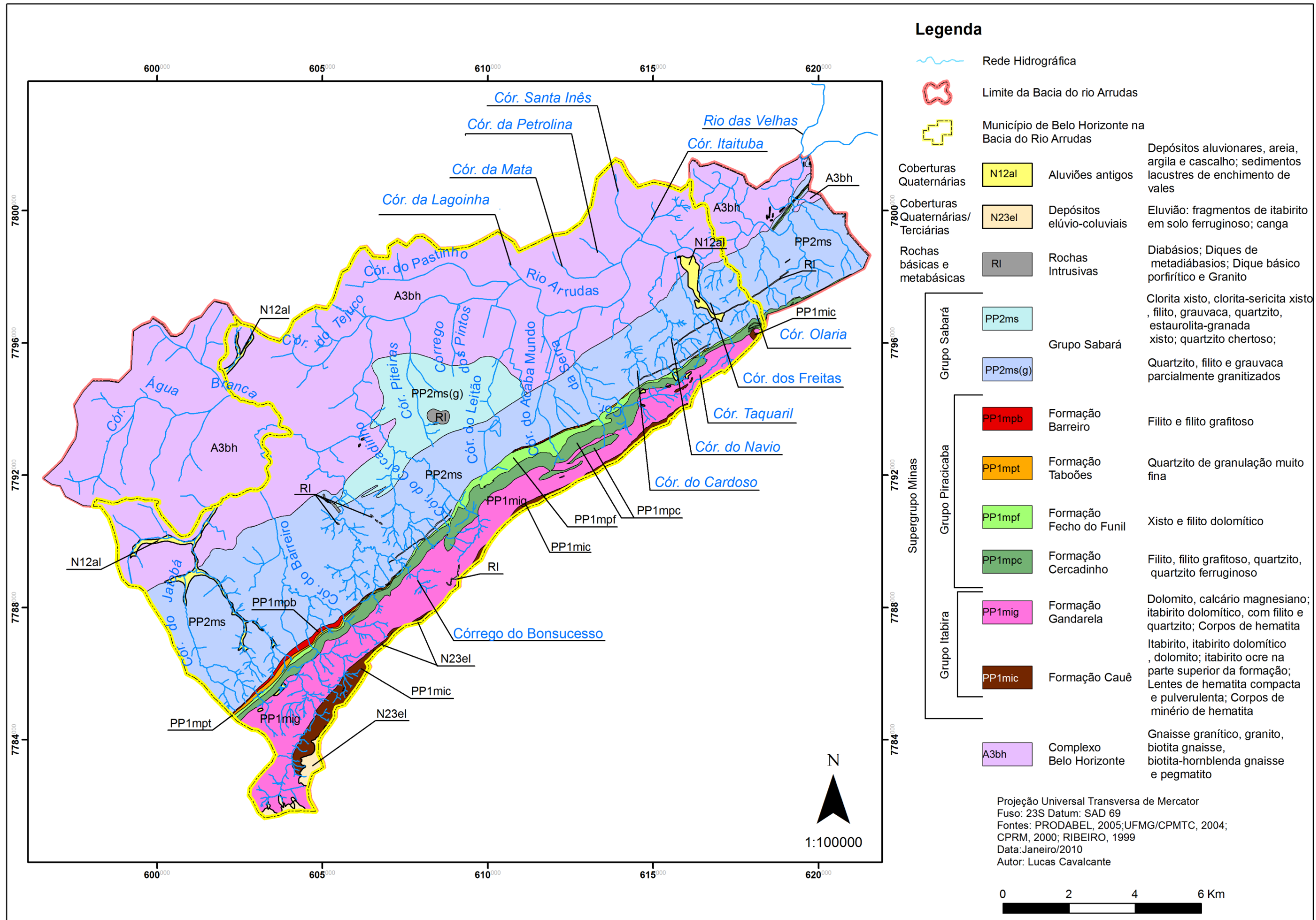


FIGURA 18 - Litologia da bacia do rio Arrudas
 ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005; UFMG/CPMTC, 2004; CPRM 2000; RIBEIRO, 1999

O Supergrupo Minas é subdividido em três grupos: Caraça (base), Itabira (intermediário) e Piracicaba (Topo). Segundo SILVA (1995, p. 24) o Supergrupo Minas “constitui unidade alóctone delimitada, na base e no topo, por contatos tectônicos”. O período de deposição dos sedimentos, segundo o mesmo autor, está compreendido entre o intervalo de 2580 Ma. (base do Grupo Caraça) e 2050 Ma. (topo do Grupo Sabará). No caso da bacia do rio Arrudas são encontrados apenas os grupos Itabira e Piracicaba, estando o topo do pacote rochoso (Caraça) ausente na área de estudo.

Uma formação importante para a configuração do relevo da bacia é o Grupo Itabira sobreposto ao Grupo Caraça e sotoposto ao grupo Piracicaba. O Grupo é formado por metassedimentos de origem química que são representados pelas rochas Itabiríticas (Formação Cauê) e dolomíticas (Formação Gandarela). Segundo BARBOSA (1985) citado por SILVA (1995, p.24) “os metassedimentos são de origem marinha, depositados sob condições de grande estabilidade tectônica e uniformidade climática”. A sua ocorrência se restringe ao extremo sul do município de Belo Horizonte, embasando a maior parte das Cristas que constituem a linha de cumeada da bacia do rio Arrudas (FIG. 19).

O Grupo Piracicaba se encontra sotoposto ao Grupo Itabira e é constituído por quatro formações²⁸ (SILVA et al., 1995, p. 25):

- “Formação Cercadinho: quartzitos ferruginosos intercalados em filitos prateados;
- Formação Fecho do Funil: Filitos sercíticos e dolomíticos e lentes de dolomito;
- Formação Taboões: quartzitos finos e puros
- Formação Barreiro: filitos carbonosos e filitos sercíticos”.

Em Belo Horizonte estão presentes todas as unidades do Grupo Piracicaba, tendo maior expressividade as formações Cercadinho e Fecho do Funil, sendo as demais de ocorrência e espessuras limitadas (SILVA et al., 1995).

O Grupo Sabará, sotoposto ao Grupo Piracicaba, se destaca por ser a unidade das rochas metassedimentares de maior espessura e extensão na bacia do rio Arrudas, além de marcar a unidade de topo do Supergrupo Minas na bacia do rio Arrudas. SILVA et al. (1995) caracteriza a unidade como um pacote de rochas metassedimentares e metavulcânicas formada por sequência de xistos e filitos com metagrauvas e metavulcânicas em menor proporção.

²⁸ Renger et al. (1994) apud Silva et al.(1995) excluíram a Formação Sabará que na atual coluna estratigráfica foi elevada a categoria de Grupo.

A última unidade do Supergrupo Minas (unidade de topo) é o Grupo Itacolomi, que apresenta rochas quartzíticas e em menor proporção metaconglomerados e filitos, porém essa unidade não se apresenta significativa ao estudo ao não ser encontrada na bacia do rio Arrudas (SILVA et al., 1995). Também não é encontrado nenhuma unidade do Supergrupo Rio das Velhas, importante formação geológica do Quadrilátero Ferrífero, e conceituada por SILVA et al. (1995, p. 21) como um “espesso pacote de rochas metavulcânicas e metassedimentares de idade arqueana”.

Recobrimo os pacotes rochosos encontram-se as formações aluviais, coluviais e cangas, importantes por dar indícios da dinâmica geomorfológica dos rios e vertentes da bacia no passado e no presente (FIG. 18). Os depósitos mais recentes foram formados no cenozóico sendo caracterizados por SILVA et al. (1995, p. 26) como:

“Sedimentos terciários e quaternários recobrem descontinuamente as unidades metamórficas pré-cambrianas. São representados por cascalhos, areias e lamas aluviais: colúvios, alúvios e depósitos torrenciais com intensidade variável de laterização e couraças ferruginosas localmente muito espessas, formadas às expensas das formações ferríferas”.

Na bacia, o depósito cenozóico que ocupa maior área são os aluviões antigos. Estes se relacionam a algumas planícies de inundação encontradas nos afluentes do rio Arrudas, principalmente em sua porção sudoeste, nos Córregos do Jatobá e Água Branca. Entre o córrego dos Freitas e Córrego Taquaril identifica-se outra significativa mancha de aluviões que constitui o interflúvio entre as bacias (FIG. 18).

Os depósitos elúvio-coluviais têm ocorrência restrita na escala em análise. A Canga se destaca em relação aos demais tipos de eluvião, sendo encontrada nas cristas da Serra do Curral, sobretudo na porção extremo sul da bacia, devido à sua resistência ao intemperismo. Outra importante característica é sua alta permeabilidade secundária que, devido a seu posicionamento no relevo tem a infiltração da água da chuva favorecida.

Intrudindo os metassedimentos do Supergrupo Minas e apresentando idade de formação incerta, são encontrados rochas magmáticas na forma de diques e sills abarcando diabásios, metadiabásios, diques básicos porfiríticos e granitos (SILVA et al., 1995). Foram identificados quase que exclusivamente nas áreas do Grupo Sabará, além de apresentarem pequena expressão espacial na bacia do rio Arrudas (FIG. 18).

As litologias descritas vão influenciar a análise das inundações principalmente em termos das taxas de infiltração e geomorfologia que condicionam. A geomorfologia será melhor detalhada no próximo tópico. Quanto a taxa de infiltração SILVA et. al. (1995) agrupou as formações geológicas que embasam Belo Horizonte em três domínios hidrogeológicos: complexo Belo Horizonte, Grupo Sabará e Grupos Piracicaba e Itabira.

O Complexo Belo Horizonte forma dois tipos de aquíferos: granular e fissurado. O aquífero granular é formado nos solos espessos formados na área do complexo granito-gnaiss. Já o aquífero fissurado ocorre em profundidade tendo as fraturas, fissuras e diáclases nas rochas do embasamento a sua área de formação (SILVA et al., 1995; FELIPPE, 2007).

Ou seja para a questão de infiltração, o solo do complexo Belo Horizonte, tomando-se em consideração apenas a espessura, foi considerado favorável a infiltração da água da chuva. Já a rocha sã, por sua constituição cristalina, não permite a formação de permeabilidade primária significativa, poros por exemplo, tendo destaque a permeabilidade secundária na formação dos aquíferos e assim justificando uma baixa taxa de infiltração.

Dos grupos hidrogeológicos abarcados por SILVA et al (1995), o grupo Sabará se destaca como o que apresenta a mais baixa permeabilidade. COSTA (2002) reafirma tal fato em seus estudos, justificando-o pelos solos serem em grande parte areno-argilosos, principalmente pela concentração elevada de argila, prejudicando a infiltração da água pluvial. A melhora na capacidade de infiltração ocorre quando são encontrados quartzitos intercalados às principais rochas formadoras do grupo, os xistos e filitos (FELIPPE, 2007).

O domínio Hidrogeológico dos Grupos Piracicaba e Itabira foi considerado por SILVA et al. (1995) como o melhor em termos de armazenamento e transmissividade da água subterrânea. Tal fato advém da alta permeabilidade de Quartzitos e Itabiritos presentes nas duas formações (FELIPPE, 2007).

Sendo assim, nota-se que a infiltração, levando-se em consideração apenas a litologia, é boa no complexo Belo Horizonte, ruim no Grupo Sabará e demais formações constituídos principalmente por Xistos e Filitos, e elevada nos Grupos Piracicaba e Itabira, principalmente nas formações ricas em Quartzitos e Itabiritos. No entanto, sabe-se que as taxas de infiltração se relacionam a outras variáveis igualmente importantes como declividade, espessura do solo, tipo de uso, etc.

2.4 Geomorfologia

A geomorfologia de Belo Horizonte se mostra complexa por abarcar duas distintas unidades geomorfológicas: depressão de Belo Horizonte e Quadrilátero Ferrífero. As características de tais unidades provêm, principalmente, da geologia que as embasa, estando a depressão condicionada pelos granitos-gnaisses, “de tonalidades predominantemente claras e que evoluíram para um regolito vermelho alaranjado, típico dos solos lateríticos” (RODRIGUES, 1987, p.2). O relevo típico da depressão são as colinas côncavo-convexas.

O Quadrilátero Ferrífero possui relevo bastante diferenciado e mais diversificado do que a depressão, por ser embasado pelo Supergrupo Minas e suas diversas formações. Na bacia do rio Arrudas a unidade é representada por Cristas Monoclinais, no caso a Serra do Curral, apresentando fortes rupturas de declive em típicos hog-backs (RODRIGUES, 1987).

Em ambas unidades geomorfológicas são encontradas planícies de inundação. As mesmas podem ser identificadas através do Mapa de Declividade da Bacia (FIG. 19). As declividades entre 0-3%, margeando os cursos d'água, podem ser deduzidas como planícies de inundação em grande parte da bacia. Ocorrem também áreas planas nas áreas mais elevadas da Serra do Curral, em meio a declividades entre 45 e 90%. No entanto, tais áreas aplainadas são encontradas apenas sobre a formação Gandarela (FIG. 18), constituída por Dolomitos principalmente, ou nas áreas de canga, como observado no extremo sudoeste da bacia. RODRIGUES (1987) chama a atenção para o uso de tais áreas como locais de ocupação preferencial, sendo encontrados bairros importantes sobre a formação Gandarela e seus relevos planos como, por exemplo, o Belvedere.

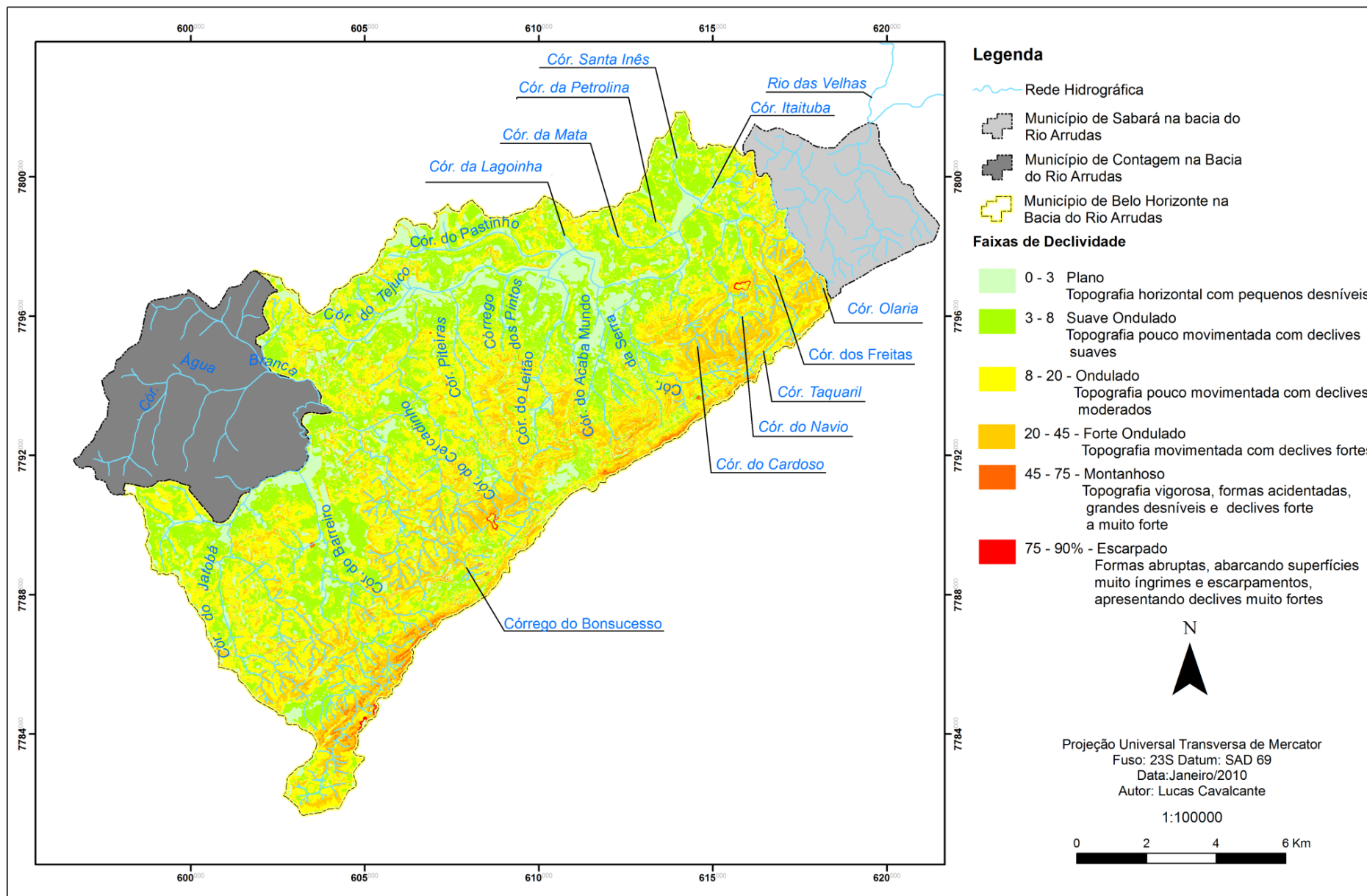


FIGURA 19 – Mapa de declividade da bacia do rio Arrudas
 ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005; EMBRAPA, 2006

No caso específico das planícies é interessante notar os estrangulamentos da rede de drenagem, presentes ao longo do curso do rio Arrudas e em alguns de seus afluentes. Um exemplo é observado após a confluência do Córrego Jatobá com o Córrego do Barreiro, onde são encontradas significativas planícies de inundação e, a jusante, o rio Arrudas inicia longo trecho sem ocorrência de várzeas, indicando seu encaixamento em relevos de declives entre 8 a 20% (FIG. 19). Outro estrangulamento da drenagem é identificado nos limites do município de Belo Horizonte com Sabará onde o rio Arrudas encaixa seu leito em declives mais íngrimes.

O mesmo indicativo de estrangulamento é observado nos córregos Jatobá, Barreiro, Bonsucesso, Cercadinho, Piteiras e da Serra. Todos estes canais fluviais são encontrados na margem direita do rio Arrudas, sendo tal processo quase que restrito a esta margem. Já na margem esquerda apenas o Córrego do Pastinho apresenta ponto de estrangulamento, não sendo observado tal fato nos demais córregos ao norte da bacia.

A diferença entre as margens não se restringe às características de estrangulamento da rede de drenagem. Apenas na margem direita são encontrados o relevo de *Crista* e *Cristas Ravinadas com vales encaixados*, sendo observado na margem esquerda apenas o relevo de *colinas* (FIG. 20).

Ressalta-se que a FIG. 20 se restringe apenas a identificar a forma do relevo sem se preocupar com questão de declividade e altimetria, pois como podem ser observados os córregos do Jatobá e do Barreiro se apresentam com relevos de morfologia suave e arredondada, porém em alto declives e altitudes (FIG. 21).

No modelo digital de elevação da bacia do rio Arrudas (FIG. 22) é possível identificar cada uma das formas de relevo identificadas na FIG. 20. Observa-se que a classe de formas em *Crista* abarca todas as áreas mais elevadas da margem direita da bacia, com ocorrência de quartzitos, itabiritos e cangas, abrangendo morfologias de picos até áreas mais suaves como ocorre nesta última. Ainda na linha de cumeada da bacia do rio Arrudas, em sua porção central, pode-se observar que além das cristas encontra-se uma ampla área plana denominada pelo IGA/CETEC (1978) como superfície ondulada. Esta é atualmente ocupada pelo bairro Belvedere. Essa porção aplainada da Serra seria uma antiga superfície de aplainamento, no entanto, não há provas que a gênese do relevo estaria condicionado

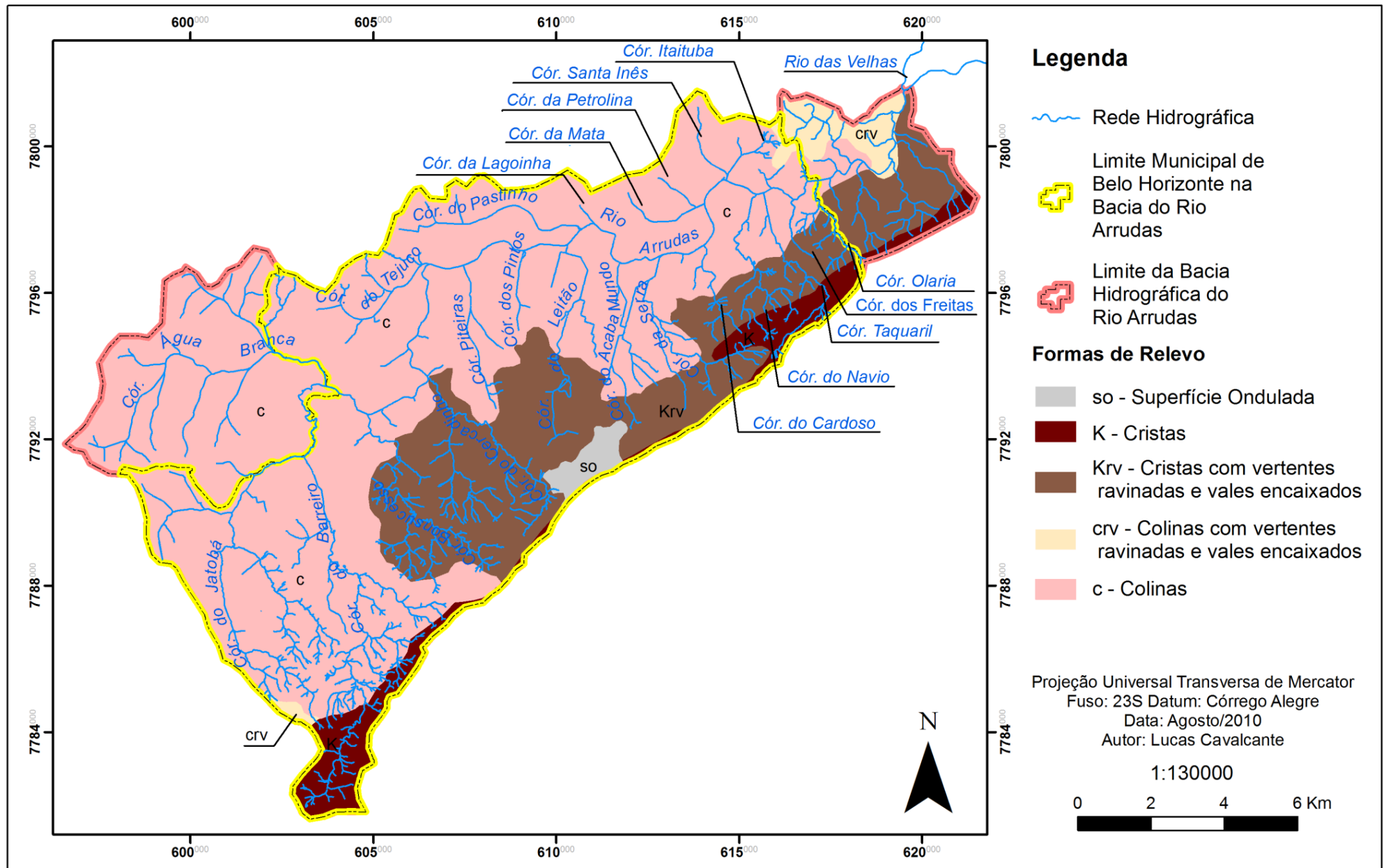


FIGURA 20 – Formas de relevo na bacia do rio Arrudas/MG
ADAPTADO DE: IGA/CETEC, 1978

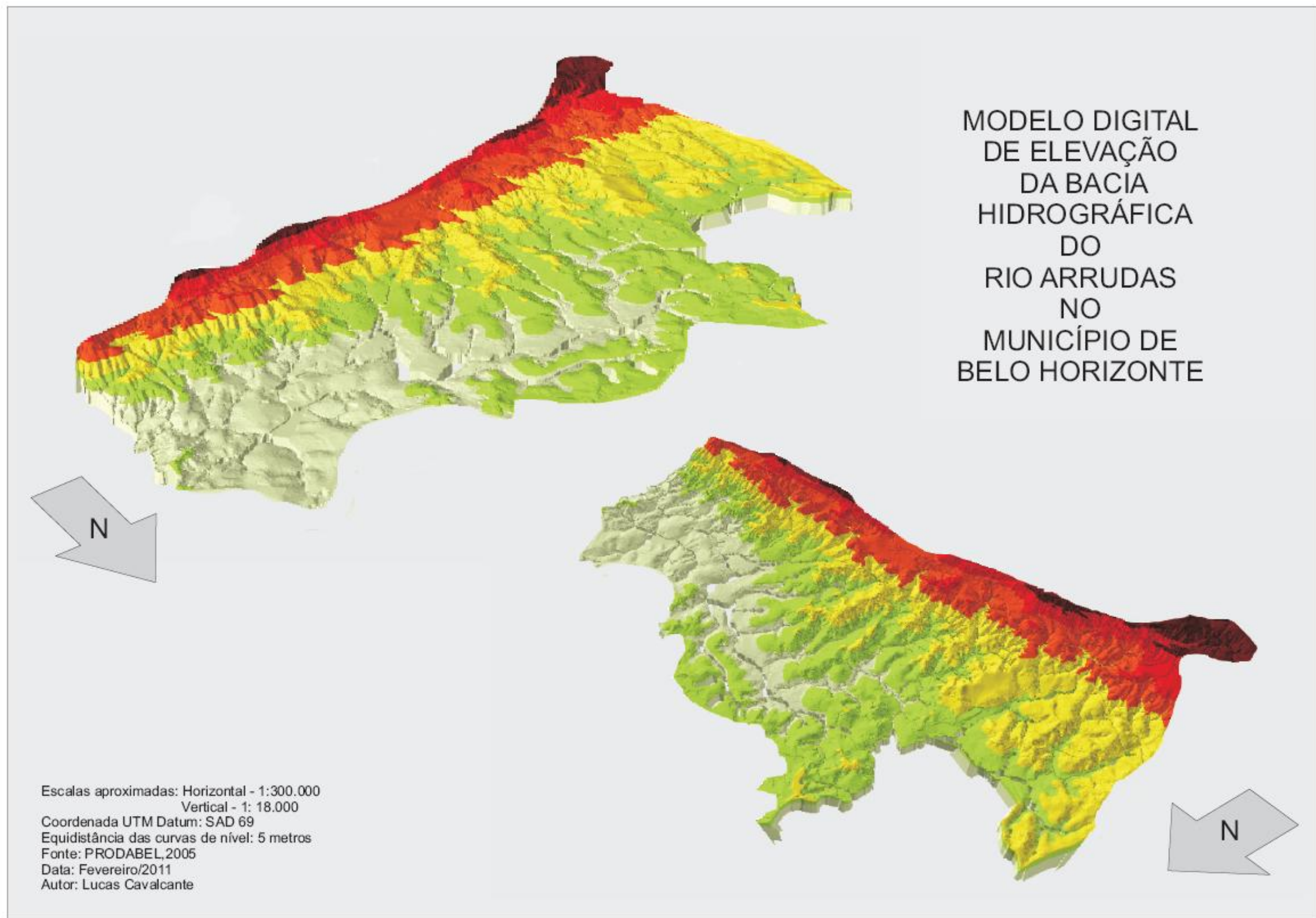


FIGURA 21 – Modelo Digital de Elevação da Bacia do Rio Arrudas/MG
ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005

a variações de ciclos de climas semi-áridos e úmidos (KING,1956). Considera-se, no entanto, a influência da desnudação mais intensa do Dolomito da Formação Gandarela para esta área e a ocorrência de um possível intemperismo de caráter karstico (RODRIGUES, 1985), materializado na superfície através de abatimentos.

Partindo-se das áreas mais elevadas (Cristas e superfície ondulada) para os flancos da Serra do Curral identifica-se a ocorrência das *Cristas Ravinadas com vale encaixado* e as *colinas* (FIG. 20). Observa-se, na FIG. 21, que as *cristas ravinadas com vale encaixado* perpassam quase que a totalidade da margem direita do rio Arrudas estando em relevo de *colinas* apenas as bacias do Córrego Jatobá e Barreiro, no extremo oeste. A primeira apresenta um relevo típico de dissecação, com vales encaixados e perpendiculares ao alinhamento geral da serra, formando cristas de semelhante direcionamento. No caso das bacias do Córrego Jatobá e Barreiro as vertentes se apresentam mais suaves, arredondadas e com declives, em sua maioria entre 0 e 20%.

As *colinas* também ocupam a parte central da bacia e toda a margem esquerda do rio Arrudas entre 750-950 metros (FIG. 22). A exceção é encontrada próximo ao limite de Belo Horizonte com o município de Sabará. Nesta região a morfologia se apresenta como *colinas ravinadas com vales encaixados* (crv). As mesmas podem ser observadas na FIG 21 através da presença de relevo com elevação acima da usualmente encontrada no fundo do vale do Arrudas, em sua porção extremo nordeste. Segundo IGACETEC (1978) tal fato seria decorrente da ocorrência de numerosos diques de anfíbolito e de quartzo, intercalados com rochas granito-gnáissicas, condicionando um relevo mais movimentado.

O relevo de *colinas* também se destaca por abarcar o divisor de águas da bacia a norte, com o mesmo apresentando grande disparidade altimétrica em relação a Serra do Curral, divisor sul. Enquanto no primeiro o desnível se limita a 200 a 100 metros de altitude em relação ao fundo de vale do rio Arrudas (750 metros), no segundo ocorre um desnível de 760 metros, tendo a nascente do córrego Jatobá (1510 metros) uma das altimetrias mais expressivas (FIG. 22). A importância de tal constatação se baseia principalmente no tempo de concentração distinto entre as margens, taxas de infiltração, área das bacias hidrográficas e comprimento do talvegue dos rios.

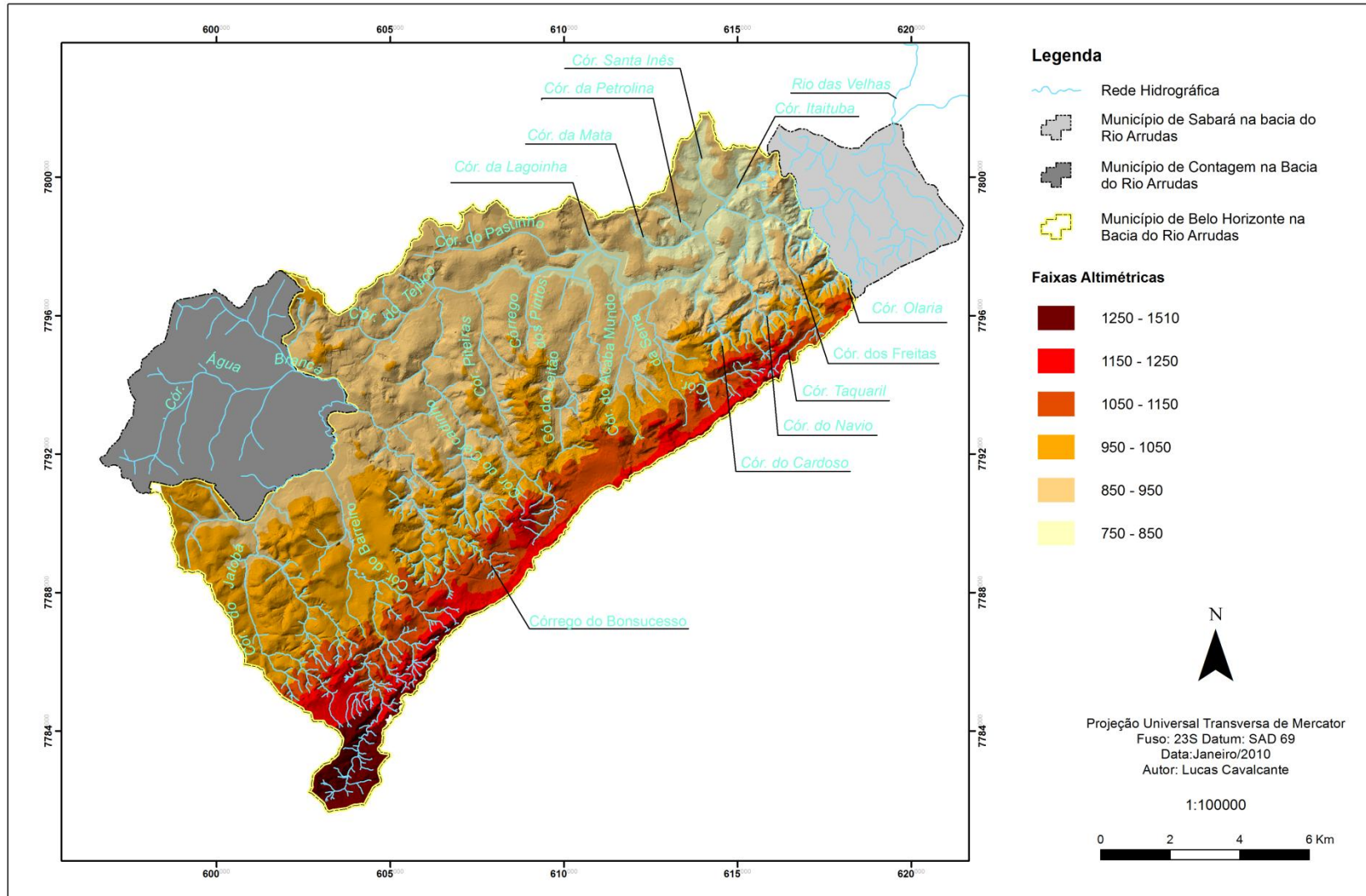


FIGURA 22 – Mapa hipsométrico da bacia do rio Arrudas/MG
 ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005

O desnível topográfico distinto condiciona e é condicionado pela extensão díspare observada entre as duas margens do rio Arrudas. A margem direita apresenta extensão superior em todos os municípios abarcados por sua bacia hidrográfica. No caso de Belo Horizonte, nota-se que 76% da área da bacia se insere na margem direita, restando apenas 24% na outra margem (TABELA 09). Fica evidente a importância da margem direita nos estudos de inundação ao desempenhar importante papel no tempo de concentração da bacia, abarcar a maior área de infiltração das águas pluviais e abranger os rios com maior volume e extensão.

TABELA 09 – Dados das margens do rio Arrudas por município

Município	Extensão (Km ²)		Porcentagem	
	Margem	Margem	Margem	Margem
	Esquerda	Direita	Esquerda	Direita
Belo Horizonte	40	124	24	76
Contagem	29	-	100	-
Sabará	5	10	33	67
Total	74	134	100	100

ADAPTADO DE: PRODABEL, 2005.

A assimetria de Vale, observada nas análises geomorfológicas, foi defendida por Schumm & Mosley (1973) como resposta as diferenças de desnudação das margens do rio. No caso da área em estudo, tal assimetria pode ser relacionada à ocorrência dos Itabiritos e Quartzitos embasando a Serra do Curral e a fragilidade das demais rochas que embasam a bacia: xistos, filitos e granito-gnaisses.

Salgado (2004), em seu estudo sobre a desnudação geoquímica das rochas no Quadrilátero Ferrífero, comprovou a existência da erosão diferencial na região, além de identificar que existe três comportamentos desnudacionais distintos das rochas na área: elevada taxa de desnudação geoquímica em áreas carbonáticas; taxas médias nas áreas modeladas em granitos, gnaisses, xistos e filitos; baixas taxas nas áreas elevadas embasadas por Itabiritos e Quartzitos. A ocorrência de Xistos e Filitos em porções elevadas do relevo estaria correlacionado a existência de Itabiritos e Quartzitos protegendo, por encobrimento ou embasando tais formações, as tornando mais resistentes a desnudação geoquímica.

Sendo assim, a assimetria da bacia do rio Arrudas pode ser explicada pela existência dos Itabiritos e Quartzitos nas *Cristas* determinando o direcionamento do curso d'água para as regiões com rochas mais tenras como o granito-gnaisse, que embasa toda a parte mais rebaixada da bacia. A ocorrência dos aplainamentos do topo da Serra do Curral estaria relacionada com a presença dessas rochas resistentes embasando os dolomitos da Formação Gandarela, com altas taxas de desnudação geoquímica.

Porém, ressalta-se que o estudo de Salgado (2004) abarcou dados de desnudação geoquímica. Para o caso do intemperismo físico os estudos geomorfológicos empreendidos pelo IGA/CETEC (1978) identificaram alta a média propensão à erosão acelerada nos xistos/filitos, independente do relevo em que se encontravam e, no caso da canga, a tendência de baixas taxas de desnudação química também foi verificada para a desnudação física (TAB. 10). Não foram relacionados os granitos-gnaisses como classes de propensão à erosão utilizadas no mapeamento, porém foi identificado que a erosão mecânica acelerada, comum em toda a área da depressão de Belo Horizonte, era reflexo das atividades humanas e desmatamento generalizado da região.

TABELA 10 – Relação litologia, relevo e propensão a erosão para a Canga e os Xistos/Filitos para o Quadrilátero Ferrífero/MG

Litologia	Formas de Relevo	Propensão à Erosão Acelerada
Canga (predominantemente) depósitos colúvio-lacustre quartzitos	Superfície Ondulada	Baixa
Xistos/Filitos	Superfície Ondulada	Alta
	Colinas com vertentes ravinadas e vales encaixados, cristas esparsas	Média
	Colinas com vertentes ravinadas e vales encaixados	Alta, com predomínio de Voçorocas e erosão em lençol
	Cristas com vertentes ravinadas e vales encaixados	Média

FONTE: IGA/CETEC (1978)

Além dos estudos de Salgado (2004) outros autores tentaram explicar a evolução do relevo do Quadrilátero Ferrífero e Depressão de Belo Horizonte. As pesquisas foram produzidas por IGA/CETEC (1978) e Rodrigues (1987), porém demonstram uma forte influência da teoria de King em suas análises. As proposições da evolução regional do relevo para a depressão de Belo Horizonte foram sintetizadas na TAB. 11.

O IGA/CETEC (1978) identificou a ocorrência de dissecação do Supergrupo Minas pela rede de drenagem, na maioria dos córregos da margem direita inseridos no relevo de *Cristas Ravinadas com Vales encaixados* (Krv). Tal fato implica em canais fluviais de rápido escoamento das águas, por seu encaixamento, e com ocupação problemática, seja pela declividade das vertentes ou pela necessidade de implantação de sistema viário no fundo dos vales gerando pressão para a canalização dos córregos. Nestas áreas podem sobressair as enchentes devido à urbanização e ocupação ribeirinha (REBOUÇAS, 2006).

TABELA 11 – Síntese da evolução geomorfológica da Depressão de Belo Horizonte

IGA/CETEC (1978)	Rodrigues (1987)
<ul style="list-style-type: none"> • A depressão de Belo Horizonte é uma zona de denudação periférica entre os escarpamentos da Serra do Curral (e prolongamentos) e o horizonte de ardósia. • Para o caso de toda a Região Metropolitana de Belo Horizonte e cabeceiras do rio das Velhas e Paraopebas seriam encontrados quatro superfícies do tipo pediplano (Gondwana, Pós-Gondwana, Sulamericana e Velhas) (King, 1956). Posteriormente o rio das Velhas e Paraopeba superimpõe as estruturas dobradas do Supergrupo Minas já truncadas pela erosão. • Os rios dissecam as superfícies de aplainamento formadas pela instalação de clima úmido no Holoceno. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fase inicial de elaboração: superfície de aplainamento pliocênica posteriormente melhor definida em clima seco pretérito formando a superfície plio-pleistocênica. • Fase atual: O clima úmido gerou a dissecação das superfícies formando vales profundos que posteriormente foram preenchidos por sedimentos provenientes do arredondamento das vertentes. • A morfodinâmica estaria exposta na paisagem da Depressão de Belo Horizonte atual. • Topo e divisores das colinas – Resquícios do aplainamento Plio-pleistocênico dissecado • Vertentes – elaboradas durante o clima úmido • Fundos dos vales e baixos terraços – preenchimento por sedimentos recentes provenientes do arredondamento das formas de relevo.

FONTE: IGA/CETEC, 1978; RODRIGUES, 1987.

Rodrigues (1987) identifica, na evolução do relevo da depressão Belo Horizonte, o preenchimento dos fundos dos vales, antes encaixados, pelos sedimentos provenientes do arredondamento das colinas. A importância de tal constatação é observada no mapa de declividades (FIG. 19) em que a maioria das áreas planas da bacia do rio Arrudas se encontra nas margens de seus afluentes ou em seu canal principal. As áreas planas são preferenciais a ocupação, sobretudo para instalação de vias e mesmo para o desenvolvimento urbano. As enchentes ribeirinhas (REBOUÇAS, 2006) tomam importância em tais áreas, principalmente no relevo de colinas e no interior da depressão de Belo Horizonte.

2.4 Clima

O clima de uma região é condicionado por vários fatores, destacando-se a circulação geral da atmosfera, os sistemas de meso-escala e locais. Esses fatores, segundo Nimer (1979), são considerados dinâmicos e estão associados aos estáticos ou geográficos³⁰ determinando o clima da região.

Os fatores climáticos dinâmicos de Belo Horizonte estão relacionados à atuação dos centros de ação³¹ que determinam as condições meteorológicas da cidade. Entre os sistemas atmosféricos que atuam sobre o município se destacam: o Anticiclone Subtropical Atlântico Sul (ASAS), o Anticiclone Subpolar Atlântico Sul (APAS), os sistemas frontais (SF), as Linhas de instabilidade (LI), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e em menor recorrência a Alta da Bolívia (AB) e a Baixa do Chaco (BC) (ASSIS, 2010).

Assis (2010) descreve qual o tipo de tempo que cada sistema atmosférico condiciona em Belo Horizonte (TABELA 12). Para o caso das inundações destacam-se a influência climática das Frentes Frias (FF), Linhas de Instabilidade (LI), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Alta da Bolívia (AB) e Baixa do Chaco (BC), todas gerando climas de tempo instáveis com ocorrência de precipitação.

Lucas (2007), em seu estudo sobre as Chuvas persistentes na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), identificou sua forte relação com a ocorrência da ZCAS. Segundo a autora as chuvas persistentes têm forte ligação com a atuação de banda de nebulosidade formada pela associação entre SF e a Convergência Tropical (CT), escoamento em baixos níveis NW-SE de, no mínimo, dois dias e ocorrência de chuvas fortes a extremamente fortes³² na RMBH. Todas estas características são típicas do padrão atmosférico da ZCAS.

³⁰ Os fatores estáticos ou geográficos estão relacionados à posição geográfica da região e topografia (LUCAS, 2007).

³¹ “Os centros de ação constituem-se em regiões de alta pressão (AP) e baixa pressão (BP) atmosférica que dão origem aos fluxos de ventos predominantes e as diferentes condições meteorológicas” (ASSIS, 2010).

³² Foi utilizado a classificação de chuvas usado nos alertas meteorológicos de Minas Gerais sendo considerado chuvas diárias acima de 50 mm como extremamente fortes, 30 a 50 mm como fortes e 10 a 30 mm como moderadas (LUCAS, 2007).

TABELA 12 – Sistemas atmosféricos e sua influência nas condições de clima de Belo Horizonte

Sistema Atmosférico	Descrição	Período de Ocorrência	Tempo característico
ASAS	Relacionado à zona de alta pressão do Atlântico Sul	Ano todo, principalmente na primavera-verão	Relativa estabilidade, elevadas temperaturas e baixo teor de umidade relativa do ar (Tempo Bom)
APAS	Provêm do sul do continente, zona subantártica, próximo ao centro-sul da Patagônia	Maior periodicidade no Outono e Inverno	Produz quedas térmicas e reduzidos índices de pluviosidade (Tempos amenos e estáveis); Ocorrência de inversões térmicas.
SF	Principalmente representados pelas Frentes Frias são caracterizados pela invasão das APAS na região sudeste	Atuam durante todo o ano	Instabilidade atmosférica, mudanças na direção e velocidade dos ventos e, geralmente, intensas precipitações. A ocorrência de chuvas é mais intensa quando esta associada a LI e a ZCAS.
LI	São centros de baixa pressão relacionados à atuação da convecção tropical ou pela passagem de sistemas frontais frios no litoral da região sudeste.	Principalmente no verão de Belo Horizonte	Constitue-se em um dos principais agentes causadores de Chuva em Belo Horizonte gerando precipitação, geralmente, de caráter torrencial e de curta duração (“chuvas-de-verão”)
ZCAS	O sistema é formado pela associação de frentes frias (FF), vindas do sul do país, e organização da convecção tropical, principalmente de origem Amazônica.	Exclusivamente no verão de Belo Horizonte, principalmente nos meses janeiro, novembro e dezembro.	Gera fortes precipitações que chegam a durar de 3 a 8 dias
AB	Área de alta pressão formada nos altos níveis da troposfera sobre a Bolívia	Especialmente durante o Verão	Os sistemas ocorrem de forma associada atuando de forma episódica e indireta em Belo Horizonte, gerando tempos de relativa instabilidade convectiva, reflexo das altas temperaturas e taxas de umidade relativa, com ocorrência de chuvas de caráter convectivo e tempestades
BC	Área de baixa pressão formada próxima a superfície na região do Chaco		

FONTE: ASSIS, 2010; LUCAS, 2007.

A relação das chuvas persistentes³³ na RMBH com a ZCAS, ou fenômenos com padrão atmosférico típico da mesma, se torna mais forte quanto maior o número de dias de precipitação. Lucas (2007) identificou que chuvas acima de quatro dias são muito pouco comuns e ocorrem exclusivamente nos meses de verão. Chuvas entre três a quatro dias ocorrem em outros períodos do ano, porém sua ocorrência é maior também nos meses de verão. No caso de chuvas acima de doze dias consecutivos, apenas foi constatado sua

³³ A autora considerou chuvas persistentes casos de precipitação acima de 1 mm em pelo menos 80% dos postos sob análise em sua pesquisa e de ocorrência de três dias seguidos no mínimo. (LUCAS, 2007).

ocorrência nos meses de novembro, dezembro e janeiro, considerados os meses de maior quantidade de eventos de precipitação persistente, abarcando 63% dos casos para o período de 1970 a 2005.

Como a autora explicita, a ocorrência da ZCAS e chuvas persistentes têm forte impacto sobre a população de Belo Horizonte, pois quanto maior o período de precipitação contínua maior o índice de saturação do solo e runoff nas vertentes favorecendo movimentos de massa em encostas e inundações no interior da mancha urbana.

Além da influência dos fatores climáticos dinâmicos, o clima de Belo Horizonte também é influenciado pelos fatores geográficos. No caso do município seu posicionamento no interior do continente e, para a bacia do rio Arrudas, destaca-se a sua topografia.

Belo Horizonte por se localizar na região sudeste do Brasil apresenta clima típico de transição entre os sistemas típicos dos regimes tropicais, em que o período seco e úmido são bem definidos, nordeste do Brasil, e o subtropical, permanentemente úmido, localizado no sul do país. Apesar de distante 400 quilômetros do Oceano Atlântico, Belo Horizonte não apresenta condições rigorosas de continentalidade e a influência marítima se mostra minimizada pela presença de barreiras orográficas entre o continente e o litoral (ASSIS, 2010).

Com relação à topografia da bacia, teoricamente, pressupõe-se que o aumento de 100 metros de altitude produza uma queda de 0,6° C na temperatura, tendo a orografia um papel atenuador (AYOADE, 2004 apud LUCAS, 2007). A influência do relevo sobre as condições térmicas é maior em Belo Horizonte no período de estiagem do que durante a estação de chuvas, pois a condição de tempo nublado, típica deste período do ano, “interfere nos efeitos da radiação que é bastante reduzida” (LUCAS 2007; p. 27).

Mas a principal influencia do relevo sobre o clima local, e importante nesse estudo de inundações, é sua influência sobre as precipitações. Segundo Moreira et al. (2002), a Serra do Curral apresenta-se como “âncora” para os maiores totais de precipitação, pois como ressalta Nimer (1979 apud LUCAS, 2007; p. 29) “a orografia favorece as precipitações, uma vez que ela atua no sentido de aumentar a turbulência do ar pela ascendência orográfica, principalmente durante a passagem de correntes perturbadoras.”

No entanto, Moreira (2002) ressalta que há uma desarticulação entre a topografia elevada e a precipitação para o mês de março quando os maiores totais ocorrem transversalmente à Serra, em sentido NW-SE, sentido condizente com a ocorrência da ZCAS sobre o Brasil.

A conjunção dos fatores climáticos dinâmicos e geográficos permitem a classificação do clima de Belo Horizonte de distintas maneiras conforme a metodologia utilizada pelo autor. Assis (2010, p. 99) classificou o clima “natural” de Belo Horizonte como sendo “mesotérmico úmido do tipo B₃rB’₃a”, fundamentando a análise no conceito de balanço hídrico e na metodologia de Thornthwaite e Mather (1955). Segundo o autor, para o período de 1910-1920 a precipitação média excedeu a evapotranspiração potencial no período de outubro a março, sendo o primeiro um mês de reposição hídrica assim como o mês de setembro e novembro. O período de abril a setembro apresenta déficit hídrico variando de 11 a 45 mm (FIG. 23).

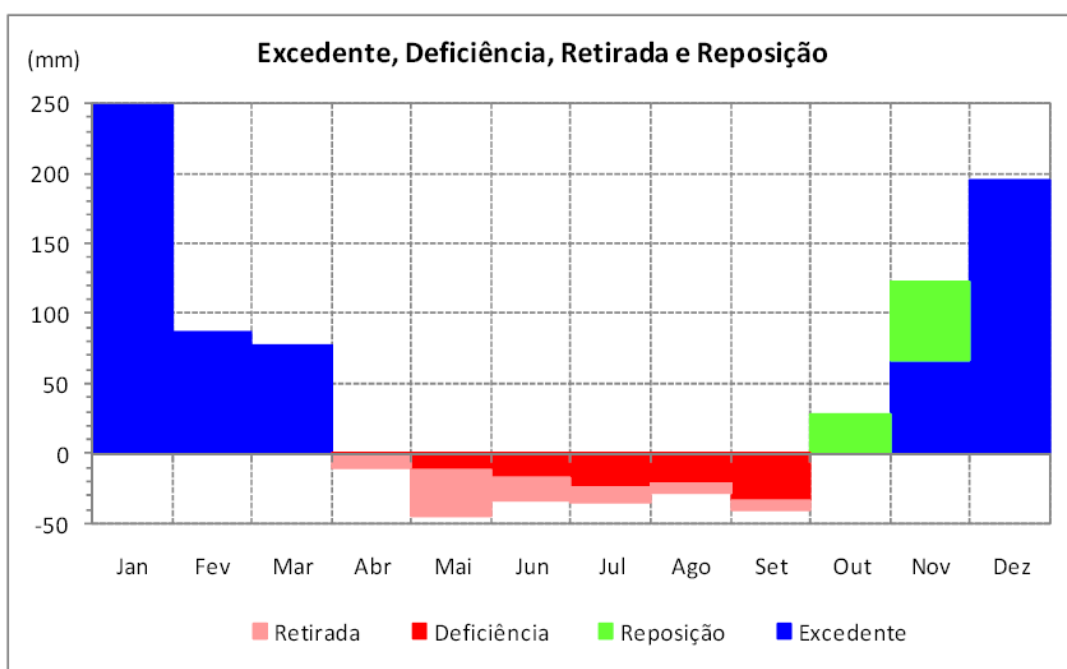


FIGURA 23 – Balanço Hídrico mensal de Belo Horizonte entre 1910 e 1920
FONTE: ASSIS, 2010.

Utilizando a metodologia proposta por Gausсен-Bagnouls (1962), Assis (2010; p. 102) classificou o clima de Belo Horizonte para o período de 1910-1920 como “xeroquimênico de caráter atenuado” (4cTh), pois segundo o autor “a temperatura média do mês mais frio é superior aos 15°C, a estação seca é de aproximadamente cinco meses (maio, junho, julho, agosto e setembro) e o índice xerotérmico³⁴ calculado foi de 80,5 dias biologicamente secos”.

O autor também propõe uma classificação de Belo Horizonte em unidades climáticas subdivididas em mesoclimas e topoformas (FIG. 24), tendo como parâmetro a “homogeneidade dos parâmetros meteorológicos sobre os condicionantes topográficos e hipsométricos” (ASSIS, 2010; p.103).

Importante observar dos climas naturais identificados por Assis (2010) (FIG. 25), é sua comparação com as unidades climáticas urbanas encontradas para o município de Belo Horizonte. Para 2009, houve uma maior diversificação de unidades climáticas sendo constatados dois climas urbanos locais, seis mesoclimas e trinta e cinco topoformas (FIG. 25). A chave de classificação teve como embasamento os dados de temperatura do ar, umidade relativa, direção predominante e intensidade média dos ventos, uso do solo predominante e densidade demográfica.

A comparação do clima “natural” e urbano de Belo Horizonte torna-se importante ao ressaltar as alterações que a expansão urbana tem produzido no clima da capital. Assis (2010) constatou que vários parâmetros climáticos sofreram alteração, principalmente em resposta ao uso do solo e emissão de gases à atmosfera.

O autor identifica a década de 50 como o período de início da industrialização e expansão da mancha urbana de Belo Horizonte de maneira mais expressiva, redundando em alterações climáticas e formação de núcleos de aquecimento contínuos em Belo Horizonte (Ilhas de Calor).

³⁴ “Número de dias biologicamente secos no decorrer do período seco” (ASSIS, 2010; p. 100).

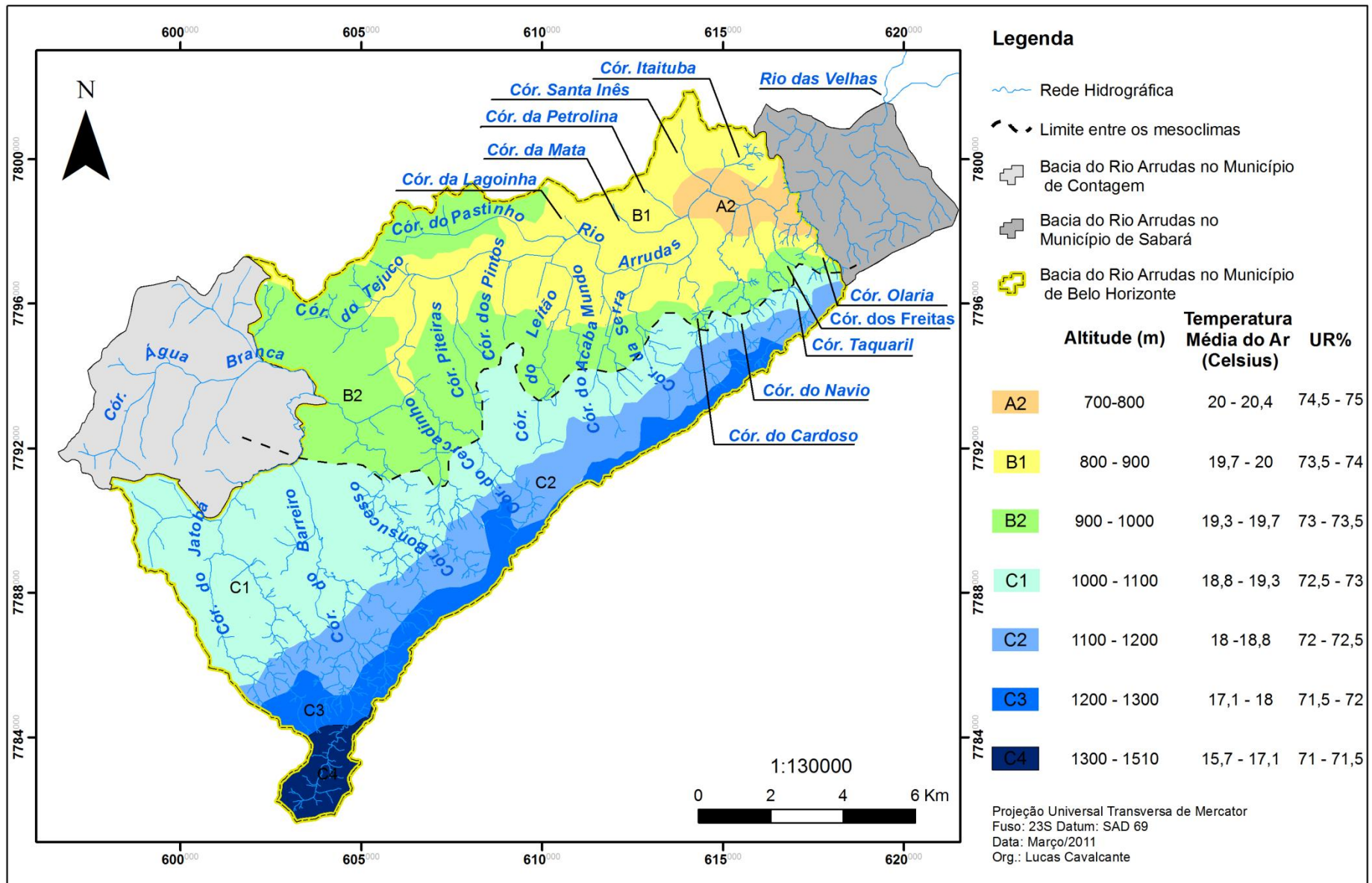


FIGURA 24 – Mapa de Climas “Naturais” da bacia do rio Arrudas em Belo Horizonte
ADAPTADO DE: ASSIS, 2010

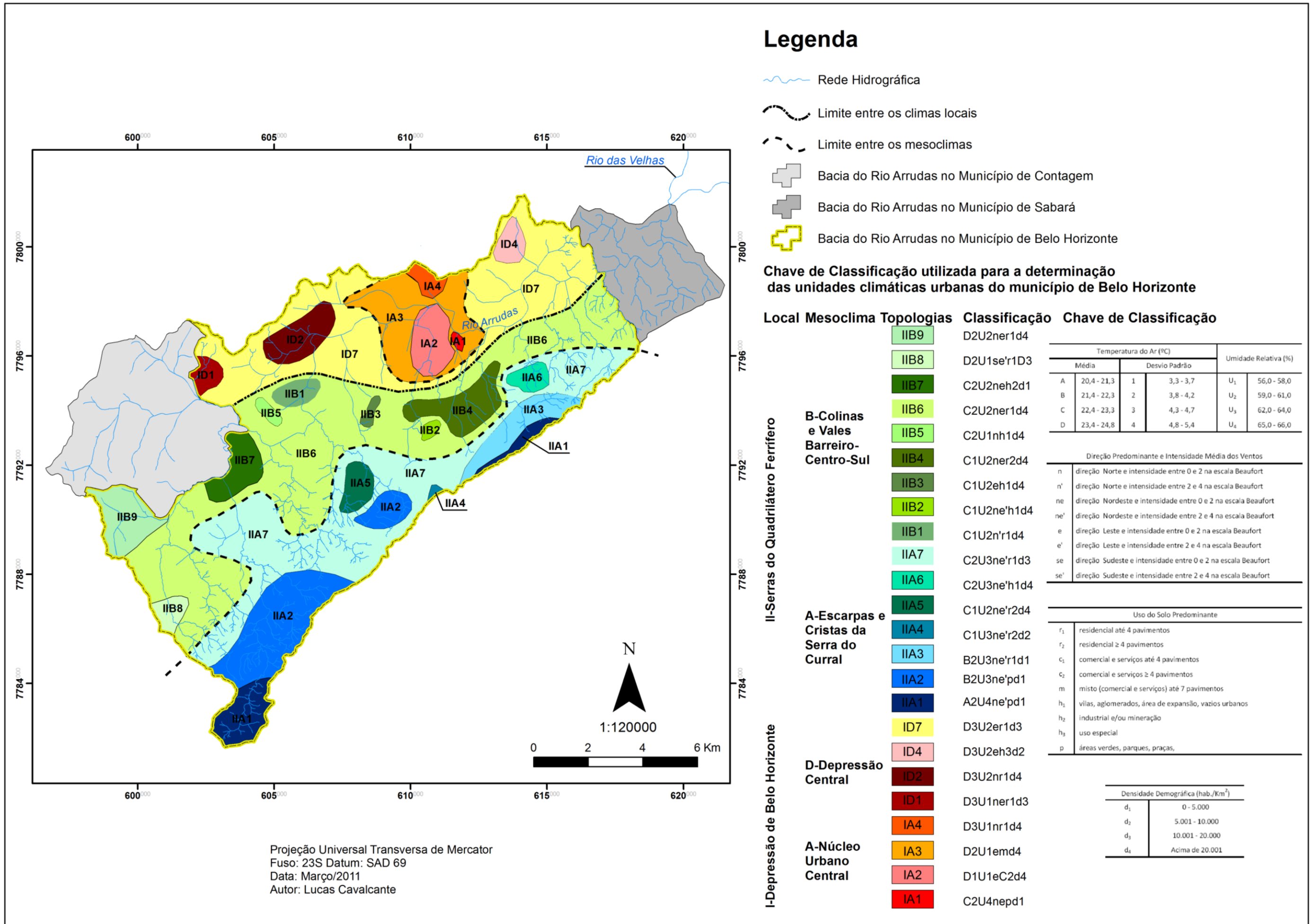


FIGURA 25 – Mapa de climas urbanos de Belo Horizonte na bacia do rio Arrudas
ADAPTADO DE: ASSIS, 2010

A década de 80 foi colocada como o período em que se inicia a redução mais expressiva e persistente da umidade relativa do ar de Belo Horizonte, apontado como resultado das mudanças de uso de solo e verticalização mais aceleradas. No entanto, a redução não foi considerada drástica pelo autor, mas já aponta uma tendência de atmosfera mais seca no município.

Além da umidade relativa do ar, a temperatura, sobretudo a mínima, também sofreu importantes alterações com a urbanização. “A temperatura média anual aumentou em cerca de 1,5°C e a amplitude térmica registrou queda de 0,8°C”(ASSIS, 2010, p.210). Com relação à temperatura máxima houve um acréscimo de 0,7°C, tendo um aumento maior no período de janeiro, 1,6°C, e menor nos meses de julho e setembro, 0,2°C. A temperatura mínima registrou a maior elevação entre 1911 e 2009 assumindo 2,7°C adicionais em comparação com sua taxa “natural”. Tal fato advém da sua extrema sensibilidade às alterações do uso do solo.

A precipitação foi outra variável analisada por Assis (2010), porém não foram observadas alterações significativas para o período de 1910-2009. O acumulado anual foi de 1.552 mm para o período de 1911 a 1928, 1473,4 mm para 1931-1960, 1492,3 mm para 1960-1990 e 1573,5 mm de 1986 a 2009.

Foram constatados pelo autor variações na concentração das chuvas em seus respectivos meses havendo perdas em alguns com ganho em outros. Para o período de 1911 a 2009, o mesmo identificou perdas nos totais pluviométricos dos meses de outubro (-38,9mm), novembro (-3mm), janeiro (-12,6mm), fevereiro (-13,7mm), março (-0,9mm), junho (-1,9mm), julho (-2,4mm) e agosto (-5,5mm). Os meses de dezembro, abril e maio apresentaram aumento do acumulado mensal em 70,5mm, 12,3mm e 8,5mm, respectivamente. Setembro apresentou acréscimo de 18,5mm.

A ausência de alteração significativa nos índices pluviométrico em Belo Horizonte levou em consideração apenas uma análise mais geral das chuvas. Como Assis (2010) ressalta, não foram considerados os anos atípicos em suas análises, porém o mesmo dá indícios de dois anos chave à análise histórica das inundações no rio Arrudas. Segundo o autor, nos anos de 1963 e 1982 foram encontrados os maiores desvios nos totais pluviométricos anuais de todo o período (1911-2009), apresentando índices de 497,5mm e 2509,8mm. Sendo assim, é importante identificar estas datas e sua influência nas inundações do período.

Além da precipitação, a constatação do Hipercentro de Belo Horizonte (Núcleo Urbano Central na FIG. 25) como área de aquecimento contínuo ou ilha de calor é um ótimo indicativo do grau de impermeabilização, pois esta área coincide com espaços fortemente adensados e verticalizados (ASSIS, 2010). O mesmo ocupa áreas da bacia do rio Arrudas e grande parte de seu vale, podendo formar zonas preferenciais de convecção de ar quente concentrando chuvas em tais locais ou alterar a espacialização da precipitação em Belo Horizonte, porém para constatar tal influência é necessário maiores estudos. A afirmação que se pode deduzir é que o alto grau de impermeabilização dessa área poderá induzir inundações nas áreas de planície à jusante da mesma.

Após compreender de forma mais aprofundada o clima de Belo Horizonte, sobretudo a dinâmica de precipitação, urge a necessidade de compreender outra variável importante no condicionamento das inundações urbanas: o Uso e Ocupação do solo da bacia. Será analisada no próximo tópico sua evolução para o período de 1918 a 2005 tentando identificar quais foram os condicionantes a sua expansão e os problemas ambientais decorrentes.

2.5 Uso e ocupação do solo

A ocupação da bacia do rio Arrudas remete ao final do século XIX, quando foi instalada a cidade de Belo Horizonte no arraial de Curral Del Rey. A sua construção foi devido aos anseios dos políticos mineiros em criar uma nova centralidade político-econômica ao Estado em substituição a cidade de Ouro Preto, que não conseguia polarizar economicamente e politicamente todas as regiões do Estado.

Sendo assim, a escolha da bacia do Arrudas como local de instalação da cidade teve como base seu posicionamento estratégico próximo ao sertão, com fácil acesso a Sabará e ligação pela Serra do Curral ao sul do estado. A facilidade de integração à Estrada de Ferro Central do Brasil foi outro fator importante para sua escolha enquanto sede da nova capital.

Quanto a seus aspectos físicos, o local foi escolhido por seu clima ameno e sua salubridade, além da facilidade no abastecimento de água, capaz de suportar mais de 30.000 pessoas (FJP, 1997).

Identificado o local de construção foi desenvolvido o projeto da capital pelo engenheiro Aarão Reis. O projeto foi fortemente influenciado pelas ideologias urbanísticas da época com forte concepção higienista, ordenadora e estática. A capital planejada tinha o Estado como principal produtor do espaço e carregava consigo uma forte ideologia burguesa e negligencia as questões de natureza social (FJP, 1997) ao ser “assentada no tripé da separação e organização hierárquica das funções, da higiene e salubridade do espaço e da instauração de uma ordem geométrica clara do traçado” (FJP, 1997; p. 39).

Com isso, a relação da cidade e seus recursos hídricos foi baseada principalmente na canalização de seus córregos. As primeiras obras implementadas para a construção da capital foram o rebaixamento e revestimento do canal do rio Arrudas na Praça da Estação até a Praça do Mercado (Praça Rio Branco atualmente). O córrego Acaba-Mundo também teve seu curso alterado para a implantação da cidade, obra que foi concluída junto com a sua inauguração.

As canalizações se restringiram, durante a construção da cidade e ao longo de seus anos iniciais, à área da cidade de Belo Horizonte planejada por Aarão Reis e definida como Zona Urbana (8.815.382 m²). Esta era delimitada pela Avenida do Contorno e com as ruas de seu interior com traçado geométrico no qual se cruzam em 45° as malhas ortogonais de ruas e avenidas. Concêntrica à Zona Urbana, se encontrava a Zona Suburbana (24.930.803 m²), apresentando ruas mais estreitas e traçado menos regular, planejado para abrigar as quintas e casas de campo. A Zona Rural (17.474.619 m²) formaria um cinturão verde de abastecimento da cidade sendo destinado a sítios e pequenas lavouras (FJP, 1997).

No entanto, o crescimento e a própria implantação de Belo Horizonte não foi fiel ao planejamento proposto. O sistema de tratamento de esgoto não foi implementado sendo os efluentes sanitários da cidade jogados in natura no rio Arrudas. A zona suburbana não foi ocupada por quintas e casas de campo, pois a falta de incentivo do governo à agricultura e a falta de planejamento de residências para ocupação de baixa renda, condicionaram a ocupação dessas áreas pela população excluída da cidade legal, formando bairros populosos e carentes de infra-estrutura urbana (FJP, 1997).

O desrespeito ao meio ambiente da bacia não se restringiu à poluição dos cursos d'água. O traçado geométrico implementado no interior da zona urbana trouxe muitos problemas, principalmente quanto à drenagem pluvial. Ruas em colinas com rampas de alto declive formavam enxurradas que geravam a inundação das áreas baixas da cidade. O sistema de drenagem foi projetado sem considerar os canais naturais dos rios produzindo galerias de drenagem cortando o interior de quarteirões, prejudicando assim sua manutenção. Como ressalta BARBOSA (1967 citado por BAUMGRATZ, 1988; p. 127) “as vias de circulação N-S e L-W, inter cruzando-se foi imposto ao relevo, subindo e descendo as encostas das colinas. Belo Horizonte trocou sua salubridade pelos embaraços da circulação”.

A influencia do planejamento do Estado não só impactou a disposição de ruas e canais de drenagem. A mancha urbana, até 1910, também foi condicionada pelos projetos governamentais. A cidade acompanhava a implantação dos equipamentos urbanos construídos pelo Governo, expandindo-se em todas as direções com tendência de crescimento preferencial Leste - Oeste. Em um primeiro momento, a cidade se desenvolveu ainda no interior da Zona Urbana no sentido sudeste, acompanhando a implantação do bairro Funcionários. Para a zona suburbana, expandiu-se para leste acompanhando a implantação do Quartel da Brigada Militar em Santa Efigênia e a norte (margem esquerda do rio Arrudas), a instalação da Estação Ferroviária (Praça da Estação) fez surgir os bairros da Floresta e Lagoinha, e a sul pelas chácaras requintadas do bairro Serra (FJP, 1997).

Até 1920, a mancha urbana apresenta o adensamento do bairro Funcionários e a expansão do centro da cidade, com o crescimento mais intenso à leste e oeste na zona suburbana (FIG. 26). A expansão à leste decorre da preocupação da Prefeitura em manter em bom estado de conservação as estradas entre a capital e os núcleos agrícolas Américo Werneck (hoje os bairros Santa Tereza e Horto) e Bias Fortes (atual Santa Efigênia) incentivando a ocupação dessas áreas e vias de ligação. Para oeste, a ocupação deu-se pela implantação do núcleo agrícola Carlos Prates que interligou-se a vila operária Barro Preto e núcleo suburbano do Calafate. O adensamento continua nos Bairros da Lagoinha, Floresta e Santa Efigênia e dá-se o início da ocupação do sul da Praça da Liberdade (FJP, 1997).

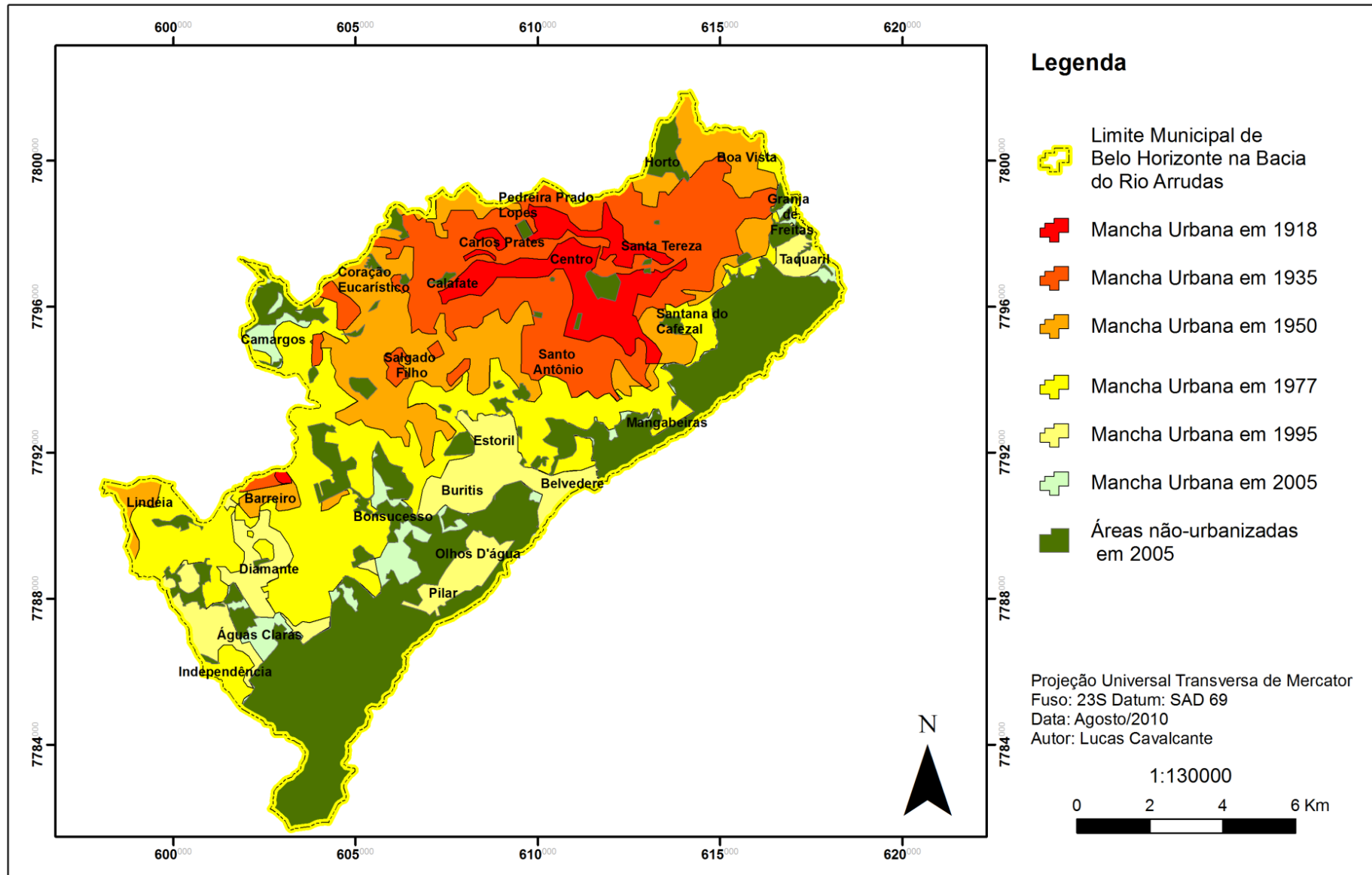


FIGURA 26 – Mapa de evolução da mancha urbana de Belo Horizonte no período de 1918 a 2005
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; PRODABEL, 2005.

Em 1918, as bacias hidrográficas mais afetadas pela mancha urbana de Belo Horizonte foram os córregos do Acaba-Mundo, Leitão, da Serra e Lagoinha, bem como o rio Arrudas cujas margens foram ocupadas. A ocupação de sua planície trouxe impacto para o baixo curso do Córrego do Pastinho e dos Pintos e exerceu pressão sobre o Córrego da Mata, cuja cabeceira começou a ser ocupada.

Importante ressaltar que a ocupação das bacias foi acompanhada pela poluição de suas águas, já que, para o período de 1910 a 1930, Belo Horizonte passa por um período de crise econômica que resultou no não tratamento dos esgotos da cidade. Outro agravante à situação de degradação das águas foi o surgimento das vilas e bairros operários que poderiam ser consideradas, em sua maioria, favelas pela infra-estrutura básica precária.

Na década de 20 podem ser encontradas na mancha urbana de Belo Horizonte as seguintes favelas: Barroca (Gutierrez), Pedreira Prado Lopes (Lagoinha), Vila Palmital (Lagoinha), Pindura Saia (Cruzeiro), Serra, Cachoeirinha, Arrudas, Morro das Pedras (Vila São Jorge) e a Praça Raul Soares (FJP, 1997).

O surgimento de tais favelas, em 1920, é reflexo do grande crescimento populacional de Belo Horizonte, condicionado pelos investimentos em ligação da cidade à rede ferroviária (Central do Brasil e Oeste de Minas) e implantação de estradas radiais pelo renascimento da Zona Metalúrgica. Com a cidade apresentando esse renascimento econômico e tendo as suas indústrias locais maior expressão, além das melhorias de acesso, houve também o crescimento da população que, em 1928, já alcançava em torno de 102.000 habitantes (FJP, 1997).

No entanto, a dinamização econômica não permitiu que a Prefeitura conseguisse arrecadar impostos suficientes para investir na melhoria da infra-estrutura da cidade, principalmente porque o crescimento de Belo Horizonte foi insustentável ao longo desse período inicial de sua história, pois a cidade se expandia dos subúrbios para o centro enquanto a infra-estrutura vinha em direção contrária (centro-subúrbio) formando-se vazios construtivos no interior da cidade. A mancha urbana de Belo Horizonte em 1935 (FIG. 26) explicita bem esse processo, onde observa-se que o Barreiro, o bairro Santa Lúcia, Jardim América³⁵ entre outros se mostram dissociados do centro e demandando infra-estrutura urbana que teria que atender áreas vazias antes de chegar a sua população. O Barreiro é a

³⁵ A nomenclatura dos bairros tem por base informações recentes da Prefeitura de Belo Horizonte, podendo os mesmos ter nomes distintos do atualmente utilizados para o período em análise.

materialização desse processo, estando em 1935 a aproximadamente 6 quilômetros da mancha urbana contínua de Belo Horizonte.

Para tentar conter o processo de expansão fragmentada da cidade, a Prefeitura, em 1930, institui a Lei nº 363 que regulamentou as construções na cidade (estabelecendo a divisão da cidade em quatro zonas: Central, Urbana, Suburbana e Rural). Outra tentativa foi a elaboração do Novo Plano Geral da Cidade, em 1933, que redefiniu os limites das zonas Urbana, Suburbana e Rural e regulamentou o estímulo ao adensamento da zona central, através da verticalização dos imóveis. Contudo, a medida gerou a valorização do solo no centro e acentuou sua diferenciação em relação ao restante da cidade e o processo de expansão continuou sem planejamento.

Como forma de permitir a ocupação das zonas urbanas próximas ao centro e as vilas operárias reconhecidas pelo Estado, o Poder Público inicia a canalização de diversos córregos, destacando-se a canalização completa do Rio Arrudas na zona urbana, a canalização fechada do córrego dos Pintos, entre o Arrudas e a Rua Platina, Córrego do Leitão entre Avenida do Contorno e Alvarenga Peixoto permitindo a abertura das ruas Tomás Gonzaga, Fernandes Tourinho, Antônio de Albuquerque e Antônio Aleixo (antiga Emboabas), o córrego do Pastinho (avenida Pedro II) da rua Ramal a Manhumirim, Córrego da Lagoinha dando lugar ao primeiro trecho da atual Antônio Carlos, da rua Formiga ao Arrudas, canalização do Córrego da Mata (Avenida Silviano Brandão), córrego da Barroca (rua Araguari, próximo a Praça Raul Soares) e da Serra, do Arrudas até Rua Carandaí.

Sendo assim, nota-se a pressão de Belo Horizonte sobre o Rio Arrudas e seus afluentes, sendo suas planícies vistas como locais de implantação de vias de circulação e suas águas assumindo o uso apenas de diluidores de poluentes.

Para o período de 1935 a 1950, a administração Juscelino Kubitschek (1940-1945) ganha destaque, pois recrudescer a pressão sobre os fundos de vale em Belo Horizonte. O processo de canalização de alguns córregos que tiveram início nos períodos anteriores são finalizados, destacando-se a conclusão da Avenida Silviano Brandão (Córrego da Mata), Pedro II (Córrego do Pastinho), abertura da Avenida do Contorno (Rio Arrudas) e completa urbanização do centro, graças à canalização do Córrego do Leitão.

Com relação a mancha urbana, a atuação de Juscelino direcionou o crescimento da cidade em dois sentidos, norte, principalmente, e oeste (FIG. 26). A implantação da Pampulha foi o fator preponderante para o crescimento para o Norte, fazendo com que a mancha urbana na margem esquerda do rio Arrudas alcance os interflúvios da bacia gerando uma grande impermeabilização do solo. Já a criação do Parque Industrial de Contagem condicionou o surgimento de bairros longe do centro de Belo Horizonte, mas próximos ao Centro Industrial, como Bairros Lindéia e Jatobá, além do crescimento considerável do Barreiro que dobra em área.

A leste, também observa-se a ocupação de toda a planície do Rio Arrudas em Belo Horizonte com o crescimento do Horto, Boa Vista, São Geraldo, Alto Vera Cruz, Saudade, entre outros e início dos bairros Santa Inês e Nova Vista.

Para o período de 1935 a 1950, observa-se que as áreas de colinas em baixas altitudes estão em grande parte ocupadas, representando a faixa altimétrica entre 750 a 950 m na bacia do rio Arrudas. Sendo assim, começa uma pressão para ocupação das Cristas Ravinadas com Vales encaixados na margem direita do rio, ou seja os contra-fortes da Serra do Curral. A pressão é maior sobre os córregos do Taquaril (Bairros Saudade e Alto Vera Cruz) e da Serra (Bairros São Lucas e Serra).

O resultado dessa ocupação da planície de inundação do Arrudas e pressão sobre as vertentes íngremes da Serra do Curral são as inundações. Os pontos considerados problemáticos em 1948 foram: Praça Vaz de Melo, Avenida Pedro II, ruas Mauá, Paquequer, Tupis, Santa Rita Durão, no cruzamento da Tomé de Souza com Sergipe, Professor Moraes, Avenida Álvares Cabral, ruas Inconfidentes, Palmeira e no cruzamento da Aimorés com rua Maranhão O córrego do Acaba-Mundo é indicado como o recurso hídrico com maiores problemas de inundação e a ineficiência do sistema de drenagem é apontada como uma das causas do fenômeno associada a expansão urbana não-planejada (FJP, 1997).

Como medidas de resposta às inundações foram feitas diversas obras estruturais como: Barragens de Detenção do Acaba-Mundo e Santa Lúcia, além da canalização do primeiro (entre ruas Alfenas e Rio Grande do Norte) e aumento de sua capacidade na rua Professor Moraes, vala de contorno que conduz o excesso de água da bacia do Serra e Gentio para o Vale do Cardoso (a nordeste das mesmas) e abertura da Avenida Prudente de Moraes (Canalização do córrego do Leitão).

A partir de 1950, começa o processo de metropolização de Belo Horizonte que irá repercutir nos recursos hídricos pela pressão por mobilidade urbana dentro do município. Para a bacia do Rio Arrudas, a necessidade de circulação de veículos exerce pressão para a canalização do mesmo.

Também há o aumento da população de Belo Horizonte que cresce a taxas de 7% (1950-1960) e 5,9% (1960-1970), gerando uma forte pressão por ocupação de novas áreas da bacia (PBH, 2008). O agravante para o período também é o aumento da população favelada no município prejudicando ainda mais a qualidade das águas dos rios e córregos.

Para a década de 50, a mancha urbana de Belo Horizonte mantém a dinâmica do período anterior apresentando crescimento preferencialmente a Norte e Oeste, ainda sobre influência da implantação da Pampulha e do Centro Industrial de Contagem. Nota-se, no entanto, que para a bacia do Arrudas este fato não provoca grandes alterações, pois a margem esquerda do rio já se encontra em grande parte urbanizada.

A ocupação quase que total da bacia ocorre entre o período de 50 a 77 (FIG. 27), materializada na expansão dos bairros Santa Maria, Camargos, Madre Gertudres, Vista Alegre, Lindéia e Jatobá. Há ainda a expansão do município de Contagem que não faz parte da área de estudo, mas ocupa significativa extensão da margem esquerda do Rio Arrudas. Também na margem direita, onde se encontra a Serra do Curral e os afluentes de maior extensão da bacia, a ocupação é intensificada, além de apresentar forte descaracterização pela mineração.

O aumento da população do município é um dos fatores ligados à significativa expansão, pois para o período de 1956 havia 507.852 habitantes no município chegando a cerca de um milhão em 1967, ou seja, quase dobrou em 11 anos (FJP, 1997). A justificativa foi a queda da taxa de mortalidade a partir da década de 50 e o êxodo rural (PBH, 2008).

A ocupação das encostas da Serra do Curral podem ser também relacionadas ao aumento da população carente no município de Belo Horizonte na década de 60. Dados de 1964 explicitam que cerca de 120 mil habitantes (10% da população total do município) moravam em 79 favelas espalhadas pelo território, em sua maioria, localizadas em áreas de risco ou fundo de vales (FJP, 1997).

Não só a população de baixa renda é responsável pela expansão da mancha urbana de Belo Horizonte sobre os relevos escarpados, como observado no bairro Santana do Cafezal. Bairros de classe média alta como Mangabeiras, Belvedere I, São Bento e parte do Santa Lúcia e Sion, foram todos ocupados no período 1950 a 1977 (FIG. 27).

Nos relatos históricos não fica claro se a canalização, comum para esse período, foi causa da ocupação de tais bairros ou consequência do processo. Na década de 70, é relatada a canalização de vários afluentes do Rio Arrudas que drenam os bairros de elite ou que sofreram expansão nesse período como os córregos Mangabeiras, Acaba-Mundo (abertura da Avenida Uruguai) e Serra. O Córrego Acaba-Mundo além de canalizado tem seu leito dividido em dois na área central de Belo Horizonte tendo parte de sua vazão transposta ao afluente do Córrego da Serra como medida de mitigação de inundações.

Além do número de canalizações implantadas nesta década, chama atenção a substituição das canalizações abertas por canais fechados de maior capacidade de escoamento. A explicação para os projetos fechados é a necessidade de solução dos problemas sanitários causados pelo baixo índice de tratamento de esgoto na cidade, além de resolver os problemas de trânsito com a formação de um anel rodoviário.

Essa necessidade de ligação por vias de trânsito rápido norteou o projeto do prefeito Oswaldo Pieruccetti (1971-1975) que previa a construção de via Expressa ligando Sabará ao Barreiro, utilizando as Planícies do Rio Arrudas e canalizando seu curso d'água. Apesar deste projeto não ser viável economicamente ele se destacou por lançar a ideia norteadora do projeto futuro da via Urbana Leste-Oeste (PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE - PLAMBEL, 1986). O projeto tinha entre os principais objetivos a busca de solução dos problemas de trânsito em uma linha de grande demanda de transporte na capital através da criação de via expressa de 13 km, se estendendo desde a ponte do Perrela até o anel rodoviário (10 km) e do mesmo até a Av. III em Contagem (3 km).

Esta demanda de transporte foi resposta da expansão da mancha urbana a sudoeste, além do desenvolvimento do distrito industrial de Betim com a implantação de grandes indústrias como a Fiat, KRUBB e FMB. A cidade teve seu maior crescimento, entre 1950 e 1977, nesta direção ocupando as colinas do fundo do vale e subindo as escarpas da Serra do Curral trazendo impactos aos córregos do Cercadinho, Bonsucesso, Barreiro e Jatobá que antes não estavam ocupados ou apresentavam ocupação restrita a suas confluências com o rio Arrudas.

Quanto à evolução para este período, a cidade de Belo Horizonte permaneceu crescendo de maneira fragmentada, trazendo prejuízos aos cofres públicos. Os bairros Mineirão, Petrópolis e Independência, no Barreiro de Cima, são materialização desse processo, estando afastados a 2 km da mancha urbana contínua. O Bairro Diamante no Barreiro é outro exemplo.

A partir de 1977 até 1995 (FIG. 27), a expansão de Belo Horizonte é mais modesta, porém continua em seu processo de ocupação da Serra do Curral, inclusive sobre áreas de Crista. Nas vertentes da Serra, a sudoeste, ela se materializa nos bairros Jatobá, Ernesto do Nascimento, Mangueiras, Petrópolis entre outros, todos localizados na região do Barreiro. Estes têm sua gênese na conurbação do Bairro Independência à mancha urbana e pela construção de Conjuntos Habitacionais para população de baixa renda pelo governo, no local. É comum na História de Belo Horizonte que estes conjuntos sofram processo de favelização nas áreas residuais não ocupadas dando início a Bolsões de Pobreza (FJP, 1997).

Na porção sudeste da Serra do Curral ocorre a formação dos Bairros Estoril e Buritis, ambos trazendo forte impacto ao córrego Piteiras. Não há informações se seu desenvolvimento pode ser reflexo da abertura da canalização deste recurso hídrico com a formação das Avenidas Silva Lobo e Barão Homem de Melo ou se a construção das avenidas vieram a atender a demanda de trânsito criada pela ocupação.

No extremo nordeste, é encontrado o bairro Taquaril e o Conjunto de mesmo nome, que foi construído pela Prefeitura, pelo então prefeito Sérgio Ferrara, em área de risco sofrendo a população, até hoje, com os constantes deslizamentos de terra e inundações. Sua ocupação trouxe impacto aos córregos dos Freitas e Olaria através de perda de qualidade de água e assoreamento.

Na Serra do Curral é encontrado o Bairro Belvedere III, construído sobre a superfície ondulada (so) em seu topo. A área é constituída de dolomitos e apresenta relevo suave em meio as Cristas (k) íngrimes do entorno (FIG. 20). Seu surgimento demonstra a força dos empreendedores imobiliários e sua influência durante toda a história de expansão de Belo Horizonte.

Em 1985, o Belvedere III foi considerado pela Lei área de expansão urbana, porém tendo os bairros vizinhos Belvedere I e II, a restrição de ocupação apenas por residências unifamiliares. Em 1988, o prefeito Sérgio Ferrara aprovou novo zoneamento em que o Belvedere III poderia ser ocupado por residências multifamiliar vertical e até indústrias de médio porte.

Em 1990, a pressão dos ambientalistas fez o então prefeito aprovar novo zoneamento para a área, porém os incorporadores conseguiram vencer as ações da Prefeitura em processos judiciais. Após negociações entre o Poder Público e os empreendedores, o bairro Belvedere III foi considerado na Lei 7.166/1996, que dispõe sobre o Uso e Ocupação do Solo no município de Belo Horizonte, Zona de Preservação, como tentativa de permitir uma ocupação não muito adensada. No entanto, a medida não evitou que ocorresse a impermeabilização de importante área de recarga dos aquíferos da bacia do Rio Arrudas, tanto por seu posicionamento topográfico, quanto por sua declividade e embasamento geológico.

Em 1995, também se constata outra ocupação preocupante do ponto de vista ambiental, que são os bairros Olhos D'Água e Pilar, por ocuparem posicionamento muito próximo do topo da Crista da Serra do Curral. Em anfiteatro, onde são encontradas as nascentes do Córrego Bonsucesso e afluente do Córrego Cercadinho, a impermeabilização pela urbanização pode agravar as inundações em ambas as bacias.

Quanto às inundações, o período de 1977 a 1995, se destaca ao apresentar grande recorrência e gravidade do fenômeno na cidade de Belo Horizonte, culminando na canalização do Rio Arrudas desde Sabará até o município de Contagem.

Desde 1977, a cidade de Belo Horizonte, na bacia do Rio Arrudas, tem um maior adensamento construtivo do que expansão da mancha urbana. Os declives inferiores a 45° já haviam em grande parte sido ocupados, exceto o anfiteatro do Olhos D'Água e a superfície ondulada, ocupada pelo Belvedere, que foram urbanizados no período posterior.

Sendo assim, entre 1995 e 2005, é possível identificar que a mancha urbana cresceu de forma pouco significativa, principalmente por dois motivos: a regulamentação do uso e ocupação do solo pela Prefeitura em 1996 e a ausência de áreas favoráveis à ocupação na bacia do rio Arrudas.

A Lei de Uso e Ocupação do Solo nº 7166/96 e seus ajustes pela Lei 8137, em 2000, exerceram forte influência sobre o adensamento construtivo/populacional de Belo Horizonte. As Zonas de Adensamento Preferencial (ZAP) são as macro-zonas determinadas pelas leis que tiveram maior influência na expansão/adensamento de Belo Horizonte no período (FIG.27).

O adensamento dos bairros próximos ao Barreiro, Buritis/Estoril, Belvedere, Granja de Freitas entre outros são fruto da atuação das duas legislações de uso e ocupação do solo que permitiram taxas de ocupação e verticalização mais permissivas, gerando o adensamento construtivo em tais regiões.

A legislação de 1996 ao romper com a ideia do Centro de Belo Horizonte como pólo de desenvolvimento econômico/comercial do município e incentivar o desenvolvimento de novas centralidades econômicas através da criação da Zona Central do Barreiro e seu fortalecimento, permitiu que as Unidades de Planejamento de seu entorno tivesse um crescimento populacional significativo com taxas que variam de 1,16 a 5% (FIG. 28).

As taxas elevadas de crescimento populacional em sua maioria acompanham as Zonas de Adensamento Preferencial estipuladas em lei como no caso das Unidades de Planejamento Águas Claras, Lindéia e Jardim América. Porém, nota-se a pressão de ocupação da Serra do Curral ainda acompanhando a última década em análise e desrespeitando a legislação vigente.

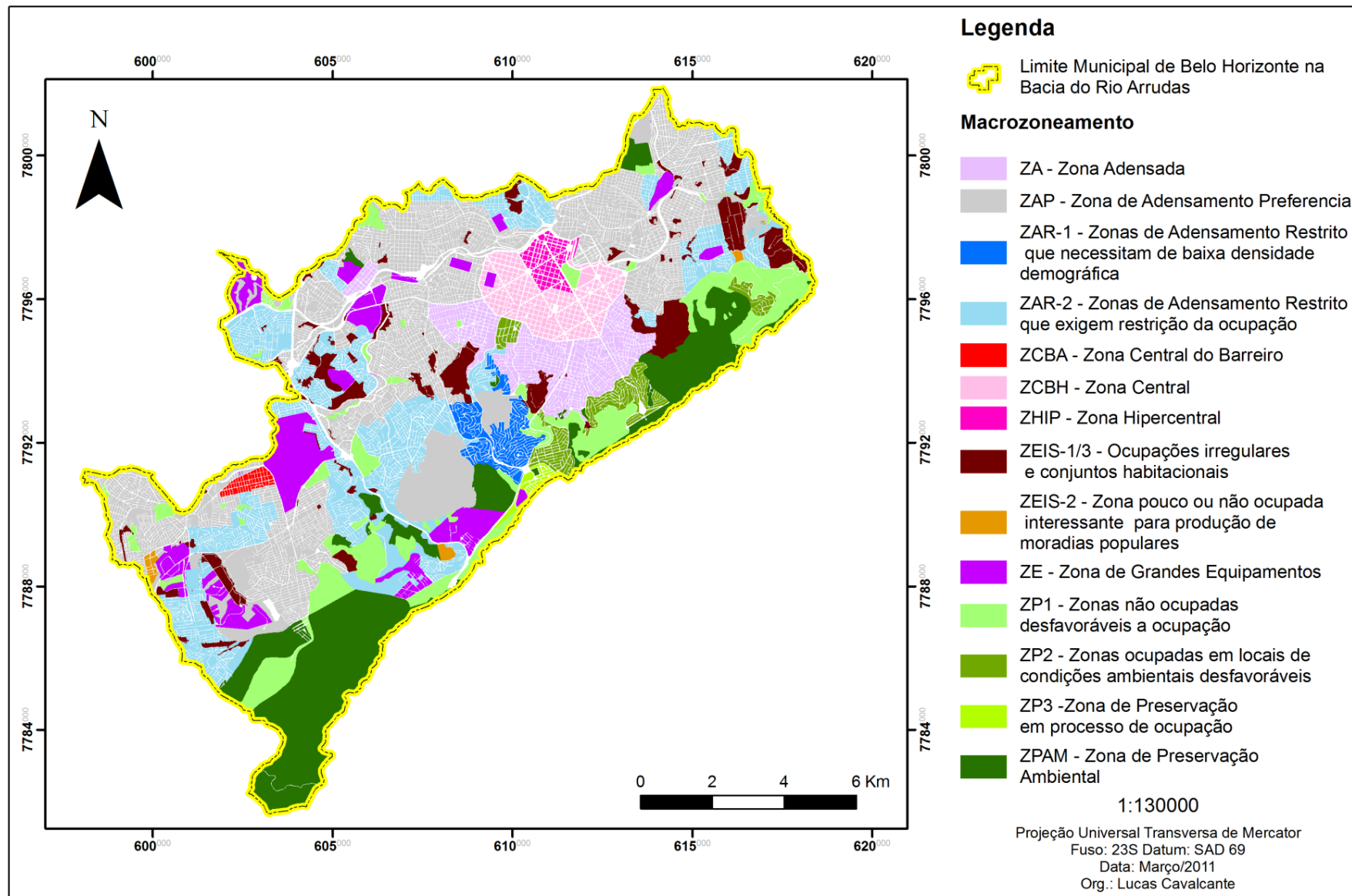


FIGURA 27 – Lei de Parcelamento e uso do solo do município de Belo Horizonte (nº 8137/2000) na bacia do rio Arrudas
ADAPTADO DE: PBH, 2008

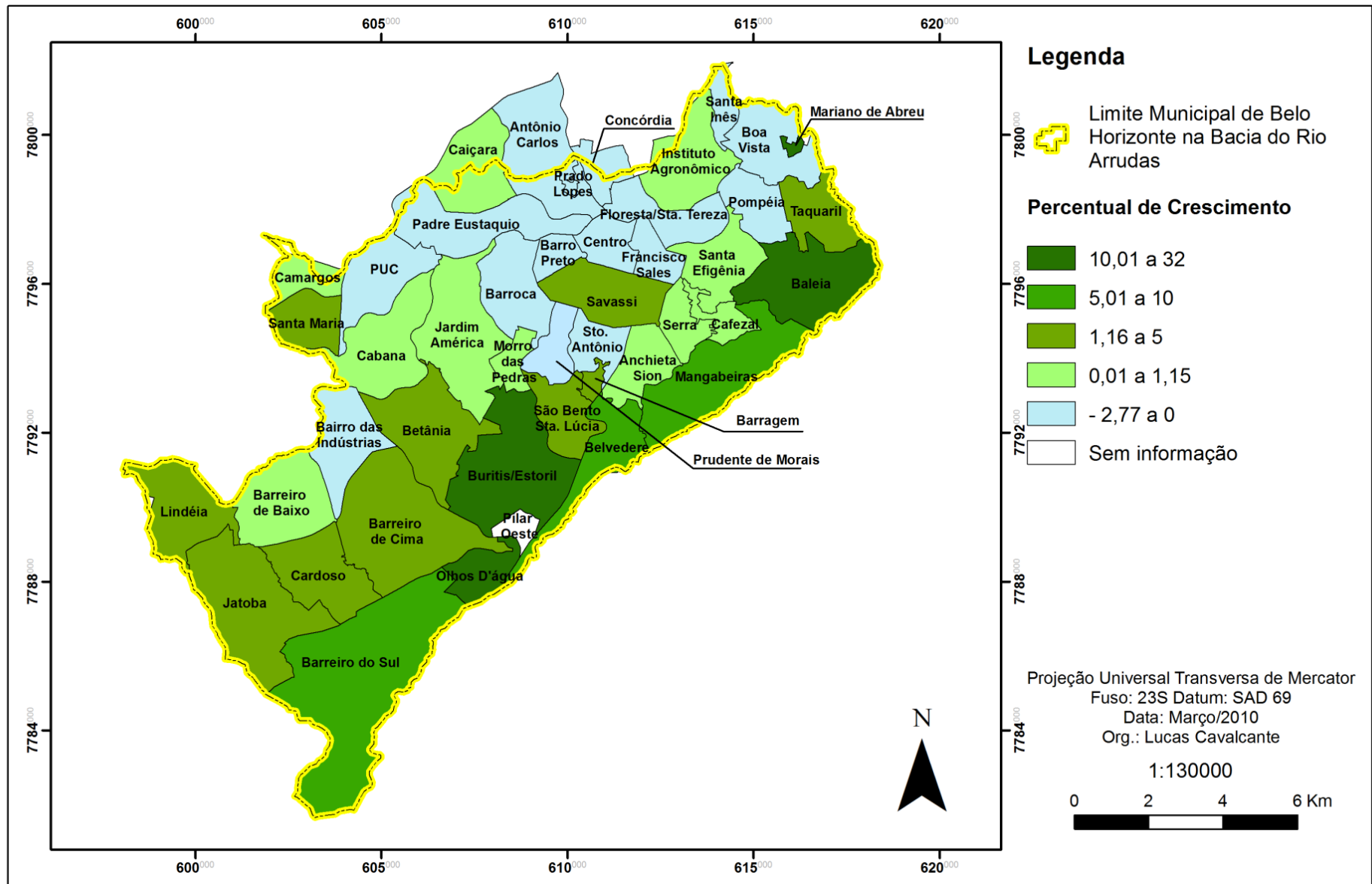


FIGURA 28 – Mapa de crescimento populacional das unidades de planejamento de Belo Horizonte para o período de 1991 a 2000
 ADAPTADO DE: PBH, 2008

Como a própria Prefeitura de Belo Horizonte (2008) identifica, a Legislação de Uso e Ocupação do Solo foi efetiva no adensamento das áreas preferenciais ao adensamento construtivo (ZAPs) como o bairro Buritis, por exemplo. Mas não é respeitada em zonas de preservação como o Belvedere (ZP-3), em que o crescimento populacional alcança de 1,16 a 5%. A Unidade de Planejamento da Baleia é outra área em que a legislação tem sido desrespeitada, pois uma área com macrozoneamento de ZP-1, ZP-2 e ZPAM (FIG. 27) não deveria apresentar os índices de crescimento populacional de 10,01 a 32% que apresenta (FIG. 28). A região centro-sul tem sido outro ponto da cidade com problemas de aplicação da lei, pois Zonas de Adensamento Restrito (ZAR) e Zonas Adensadas (ZAs) têm sofrido com o contínuo crescimento populacional observado nas taxas expressivas de crescimento populacional não condizentes com o macrozoneamento determinado pela Prefeitura, alcançando 1,16 a 5% de acréscimo populacional nos bairros Savassi e São Bento/Santa Lúcia e 10,01 a 32% no Olhos D'Água. O adensamento do São Bento e Santa Lúcia é preocupante por exercer impermeabilização no anfiteatro onde se encontra a Barragem Santa Lúcia, que desde sua construção, na década de 70, já tem sua função de amortecimento de cheias do Córrego do Leitão prejudicada pela ocupação desordenada da área, produzindo assoreamento do reservatório e canais de drenagem (BAUMGRATZ, 1988; FJP, 1997).

Esse crescimento populacional intenso para o centro-sul e sobre as vertentes íngremes e áreas de menor declive no topo da Serra do Curral, provém da pressão de ocupação dessas áreas pela saturação do centro da cidade e fundo do vale do rio Arrudas, e principalmente pela especulação imobiliária e "status" construído sobre o morar no vetor sul, sendo considerado "zona nobre" as cotas acima de 950-1000 metros (BAUMGRATZ, 1998). As unidades de Planejamento Buritis/Estoril, Belvedere III, Mangabeiras, Baleia e Barreiro Sul são exemplos desse adensamento da mancha urbana a sul (FIG. 28).

O adensamento e expansão da mancha urbana a sul, em direção a Serra do Curral, é preocupante, pois traz impermeabilização das últimas grandes áreas verdes da bacia do rio Arrudas. Zonas preferenciais de infiltração de água da chuva como o Belvedere III apresentam adensamento que não condiz com sua função ambiental e muito menos com o macrozoneamento de zona de preservação ambiental de baixa densidade populacional a ele atribuído.

Como resultado da expansão sem planejamento da mancha urbana de Belo Horizonte e direcionada principalmente pela especulação imobiliária, desde 1918 até 2005, temos como resultados: taxas de impermeabilização alarmantes dentro da bacia e córregos que não fazem parte da paisagem urbana da cidade.

O coeficiente de impermeabilização³⁶ no vale do rio Arrudas sinaliza essa preocupação na bacia. Em geral, alcança valores acima de 75% para o ano de 1999 em 24 das 47 bacias elementares identificadas pela Prefeitura de Belo Horizonte (FIG. 29). Para a margem direita, os índices se reduzem pela maior disponibilidade de áreas não urbanizadas sendo o menos impermeabilizado o córrego Taquaril e com maiores índices os córregos do Leitão, Acaba-Mundo e Jatobá. A margem esquerda se mostra mais impermeabilizada apresentando índices em sua maioria acima de 75%.

A impermeabilização foi apenas um dos impactos da urbanização sobre a bacia do rio Arrudas. A canalização também acompanhou todo o processo de construção da cidade e sua expansão. Atualmente, os diversos afluentes do Arrudas não são encontrados facilmente na paisagem urbana da cidade. Como descrito ao longo de toda a história da cidade os mesmos foram sendo gradativamente canalizados e, principalmente, a partir da década de 70, fechados dando lugar a importantes ruas e avenidas da cidade (FIG 30).

Como exemplos temos o Córrego do Jatobá que, atualmente, é encontrado sob a Avenida Senador Levindo Coelho, Córrego Cercadinho que em seu baixo curso foi canalizado e é ocupado pela Avenida Tereza Cristina, o Córrego Piteiras ocupado pelas Avenidas Silva Lobo e Barão Homem de Melo, entre outros (FIG. 30).

Sendo assim, a urbanização não planejada da bacia do rio Arrudas trouxe diversos problemas ambientais à população de Belo Horizonte como a perda de paisagens naturais no interior do tecido urbano, ilhas de calor, aumento das temperaturas mínimas, queda na umidade relativa, impermeabilização do solo, ocupação de áreas de risco, movimentos de massa, inundações urbanas, etc.

³⁶ Metodologia pautada na interpretação de imagens de satélite de Belo Horizonte em 1999 (SUDECAP , 2000 b).

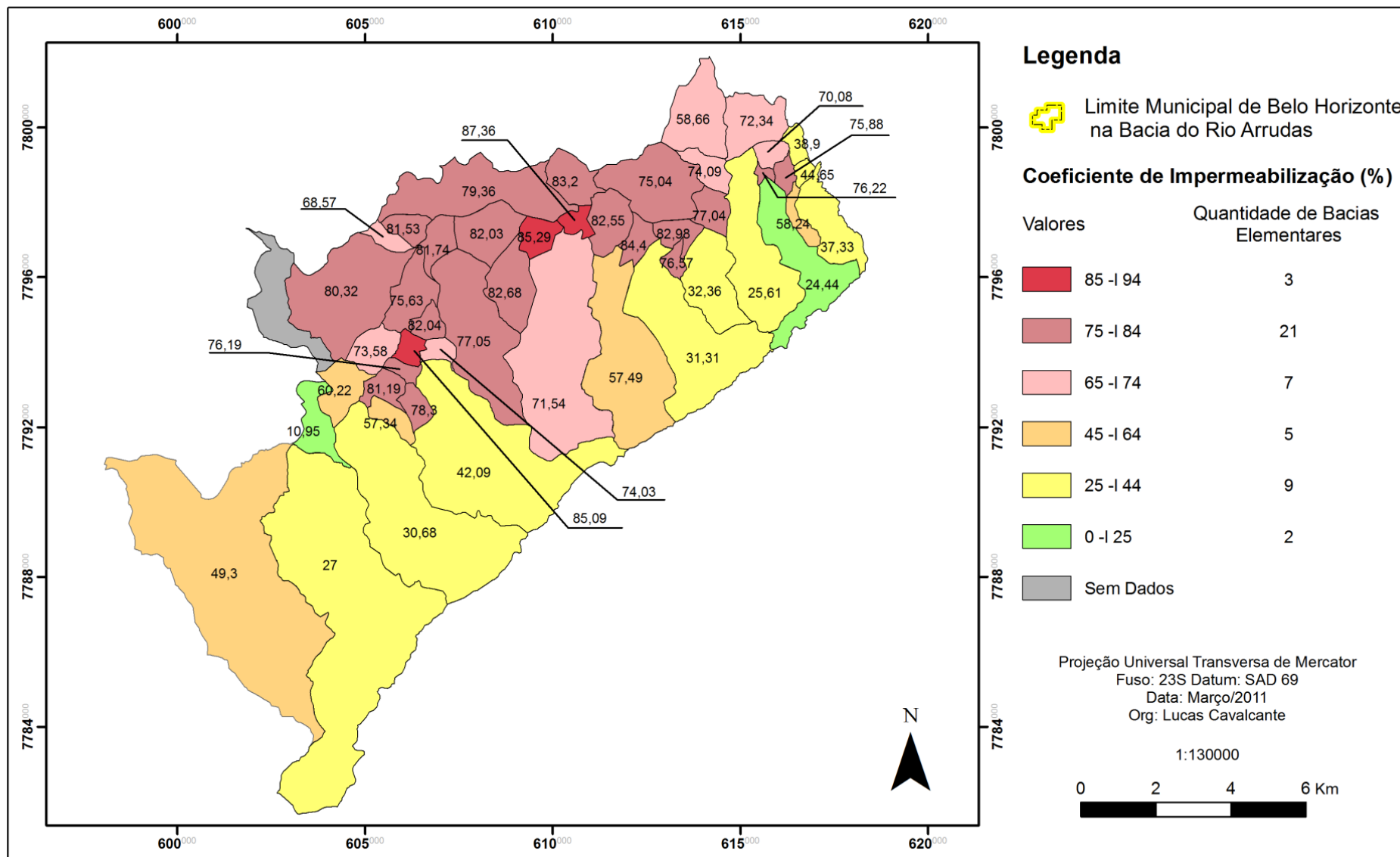


FIGURA 29 – Coeficiente de impermeabilização por bacia elementar em 1999
ADAPTADO DE: PBH, 2008

Sendo assim, fica evidente a grande degradação ambiental da bacia do rio Arrudas e o grau de desequilíbrio que a mesma apresenta. O papel principal das bacias hidrográficas que é distribuir de forma mais lenta, pelo escoamento subsuperficial, a água precipitada de forma concentrada no tempo e espaço (TUCCI, 2002), foi prejudicada na área em estudo favorecendo e muito os problemas de inundação na cidade de Belo Horizonte.

Tal fato tem influência da urbanização que ocorreu na bacia ao longo de sua ocupação. Como visto, a falta de planejamento urbano trouxe impactos irreversíveis ao Ciclo Hidrológico, sendo observado o aumento do escoamento médio e superficial, através da impermeabilização e canalização dos córregos, a redução da evaporação que trouxe menores índices de Umidade Relativa a Belo Horizonte, degradação da qualidade da água fluvial e aumento na temperatura, sobretudo a mínima (TUCCI & CLARK, 1998; TUCCI, 2002; ASSIS, 2010).

Conhecendo essa realidade de degradação e interferência ambientalmente insustentável sobre os recursos hídricos, na bacia do rio Arrudas em Belo Horizonte, torna-se possível a análise das causas e dinâmica da evolução histórico-espacial das inundações urbanas, no período de 1930 a 2005, foco do próximo capítulo.

3. AS INUNDAÇÕES NA BACIA DO RIO ARRUDAS/MG: 1930 a 2005

3.1 Introdução

A mancha urbana de Belo Horizonte, na bacia do rio Arrudas, sofre com as inundações recorrentes desde os primórdios de sua implantação. Sabe-se que, nos primeiros anos da capital, o fenômeno foi relacionado pelo governo ao relevo íngreme da bacia com formação de enxurradas nas ruas e alagamento das áreas mais rebaixadas. No entanto, o sistema de drenagem pluvial deficiente pode ser considerado o fator principal das inundações para esse período (FJP, 1997; RAMOS, 1998).

Muito dessa deficiência era causada pela falta de profissionais capacitados para o dimensionamento de estruturas de drenagem, pelo valor elevado dos mesmos e pela falta de estações fluvio e pluviométricas que permitissem um conhecimento mais aprofundado da dinâmica hidrológica da bacia (FJP, 1997).

Apesar de, ao longo da história de Belo Horizonte, ter-se investido muito na melhoria da drenagem urbana, sobretudo via canalização dos cursos d'água, o problema ainda permanece. A compreensão de sua causa continua prejudicada pela deficiência em dados hidrológicos e mesmo pelos poucos estudos desenvolvidos sobre o tema. Sendo assim, urge a necessidade de estudos das inundações para a área em estudo. A ausência de dados hidrológicos, sobretudo para períodos mais remotos da história da cidade prejudicam a percepção da evolução do problema, conhecimento essencial para a compreensão de suas possíveis causas e das falhas de medidas estruturais e não estruturais para mitigar as inundações.

Neste capítulo será desenvolvida análise sobre as inundações em Belo Horizonte na bacia do rio Arrudas desde 1930, período do primeiro relato jornalístico sobre o assunto, até 2005, ano da aquisição, pela prefeitura, da imagem de satélite mais atualizada para a área em estudo. O embasamento das considerações será o cruzamento das informações dos Mapas de Inundação produzidos pela SUDECAP (2000 c), Mapa de Evolução da Mancha Urbana no período de 1918 a 2005 (FIG.28) e dados anuais de precipitação extraídos de ASSIS (2010). Quando possível será correlacionado também as informações de canalizações empreendidas para o período relatadas pela Fundação João Pinheiro (1997).

Busca-se com esta análise compreender melhor como as variáveis mais importantes as inundações urbanas a saber: precipitação, impermeabilização do solo e canalizações (TUCCI, 2002; REBOUÇAS, 2006; TUCCI & CLARK, 1998) tem influenciado a espacialização e dinâmica das inundações na bacia do rio Arrudas em Belo Horizonte.

3.2 As Inundações na Bacia do rio Arrudas/MG: Evolução espacial e histórica

A análise das inundações na bacia do rio Arrudas em Belo Horizonte inicia-se na década de 30 com a primeira reportagem sobre o assunto sendo publicada no Estado de Minas. O primeiro ano com ocorrência de inundações para o período foi o ano de 1932 (TAB. 13), com precipitação total abaixo da média histórica, não sendo atípico com relação ao volume precipitado (FIG. 31). No entanto, nota-se que conjuntamente aos anos de 1936, 37 e 38 destaca-se como o ano de maior quantidade de bacias afetadas por problemas de inundação (TAB.13). Contudo, apenas o ano de 1937 apresenta correspondência direta entre o volume precipitado e uma maior quantidade de inundações.

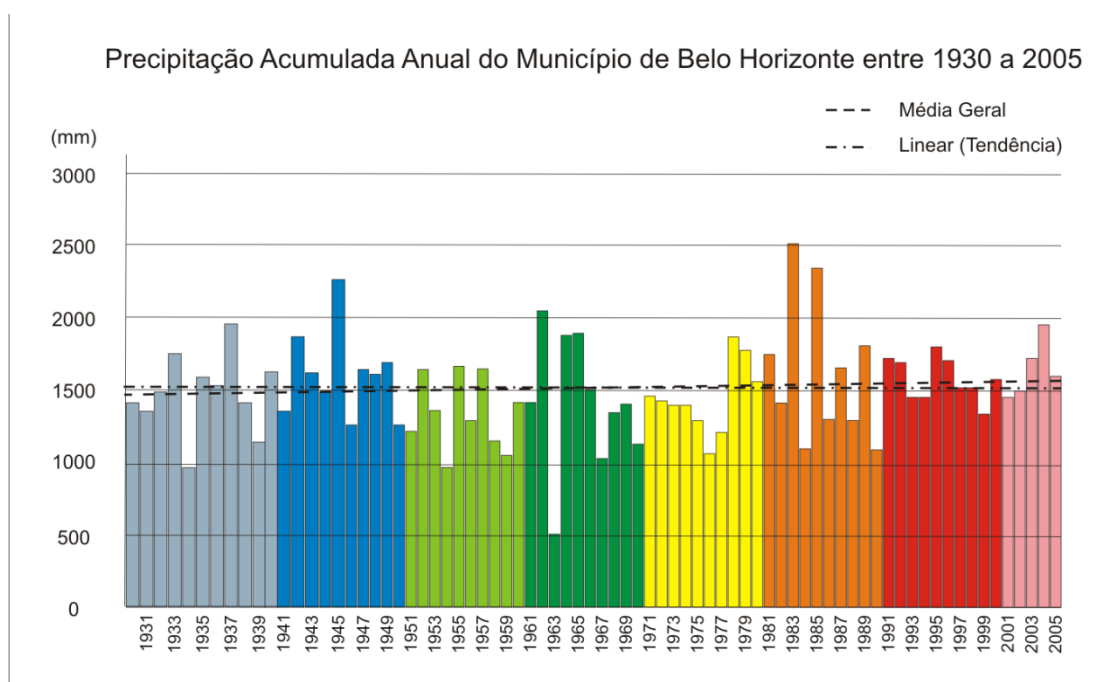


FIGURA 31 – Dados de Precipitação para o Município de Belo Horizonte
 FONTE: ASSIS, 2010, p. 121.

TABELA 13 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar (FIG. 03) para o período de 1930-1940.

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1930	1931	1932	1933	1934	1935	1936	1937	1938	1939	1940
4110006	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110007	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110008	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110009	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110010	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110011	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110012	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110013	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4110014	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
4111600	Cór. do Leitão	-	-	-	-	-	-	-	2	-	1	-
4111900	Cór. do Acaba Mundo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
4112100	Sem Identificação	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-
Total		-	-	9	-	-	-	-	2	1	2	-

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

Com relação à espacialidade das inundações para o período observa-se que as áreas com ocorrência de 1 a 5 inundações coincidem com os fundos de vale e áreas mais rebaixadas do relevo (FIG. 32). O leito maior do rio Arrudas apresenta-se como a área mais afetada pelo fenômeno apresentando problemas desde próximo ao bairro Salgado Filho até as proximidades do bairro Pompéia e Horto, abarcando o relevo de menor altimetria da bacia (750 a 850 metros) e declives planos (0 a 3%). Em 1935, esta área já se encontrava ocupada em grande parte pela mancha urbana de Belo Horizonte e os córregos Leitão e Acaba-Mundo já possuíam mais da metade de sua superfície impermeabilizadas via urbanização (FIG. 32).

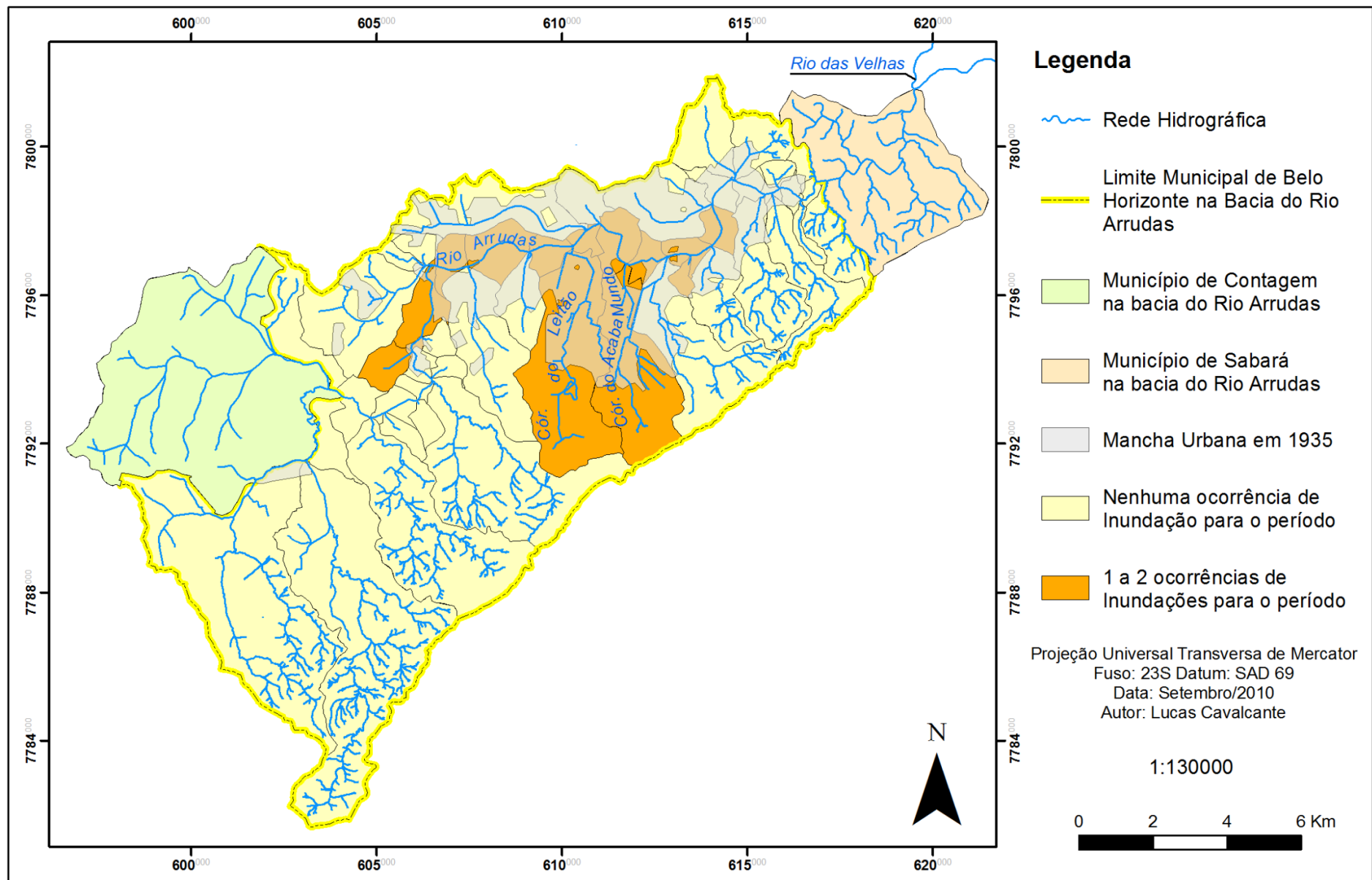


FIGURA 32 - Ocorrência de inundações entre 1930-1940
 ADAPTADO DE: PBH,1995; SUDECAP, 2000 c

Algumas bacias apesar de bastante impermeabilizadas não apresentaram inundações no período, como o Córrego do Pastinho, da Mata, Lagoinha, margem esquerda, e dos Pintos, margem direita (FIG. 32). A possível explicação para que as mesmas não sofram com o problema na década de 30, apesar do alto índice de ocupação, deve-se a canalização que estes rios sofreram, anteriormente a 1935, e que amorteceram o problema localmente.

Para o período de 1941-1950, permanecem as inundações recorrentes na planície do rio Arrudas, principalmente na área central, distinguindo da década anterior pela ausência de alagamentos na bacia do córrego do Leitão e redução da área alagada do rio Arrudas até próximo aos bairros Santa Tereza e Santa Efigênia (FIG. 33).

Apesar da mancha urbana se expandir para Noroeste-Sudoeste ocupando quase todas as colinas do médio curso do rio Arrudas, a jusante e montante da área central (FIG. 33), não é perceptível no período um agravamento das inundações no interior da mancha urbana.

Se para o período anterior foram observadas 14 ocorrências de inundação, para esta década foram observadas 15 (TAB. 14). Porém, a bacia do Córrego do Leitão, que apresentava problemas, teve através da canalização, a mitigação das enchentes. A abertura da Avenida Prudente de Moraes e a canalização do mesmo no centro da cidade são responsáveis pelo amortecimento das inundações no período (FJP, 1997).

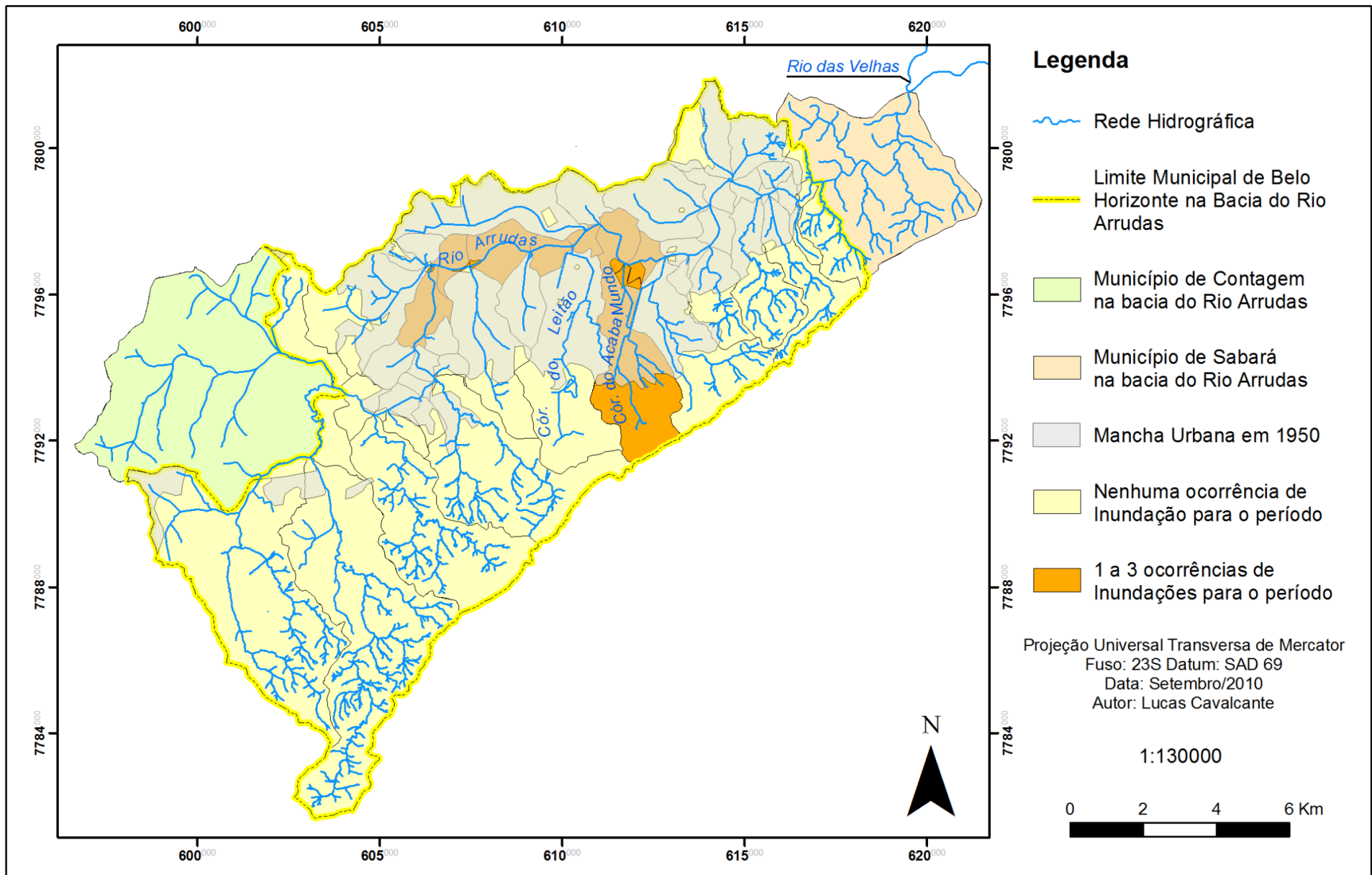


FIGURA 33 – Ocorrência de inundações para o período de 1941-1950
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

TABELA 14 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar (FIG. 03) para o período de 1941-1950

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1941	1942	1943	1944	1945	1946	1947	1948	1949	1950
4110006	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
4110007	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
4110008	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
4110009	Planície do rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	1	-	-	-
4110010	Planície do rio Arrudas	-	-	1	1	-	-	1	-	1	-
4110011	Planície do rio Arrudas	-	-	-	1	-	-	1	-	1	-
4110012	Planície do rio Arrudas	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-
4111900	Cór. do Acaba Mundo	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
Total		-	-	5	3	-	-	5	-	2	-

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

No entanto, nas bacias elementares 4110010 (próximo a antiga Escola de Engenharia da UFMG) e 4110011 (na Praça da Estação), observados na figura 03, houve um agravamento das inundações que passaram de uma ocorrência de 1930-1940 para quatro e três ocorrências, respectivamente, no período de 1941-1950. Estas duas bacias elementares constituem-se nos dois trechos do rio Arrudas logo a jusante da confluência do Córrego do Pastinho (Av. Pedro II) e Córrego do Leitão (FIG. 01). Ambos sofreram canalizações no período, ou seja, as obras implantadas podem ter contribuído com a piora no quadro de inundações na planície do rio Arrudas.

Outra bacia que recebeu intensos investimentos no período foi a bacia do Córrego Acaba-Mundo que, apesar de sofrer intervenções estruturais tais como a construção de bacia de retenção em seu alto curso e aumento de vazão em alguns de seus trechos canalizados, permaneceu sofrendo as conseqüências das inundações (FIG. 33). Esta bacia recebeu maior atenção por ser considerada prioritária por drenar parte nobre da zona central de Belo Horizonte (FJP, 1997).

Com relação à precipitação, nota-se que o período apresentou mais anos com chuva acima da média geral, porém tal fato não repercutiu em agravamento do problema. Outra constatação são os anos de 1942 e 1945 que apresentaram os mais altos índices pluviométricos anuais e, no entanto, não apresentaram inundações. Anos com chuva próximos ou pouco acima a média como 1943, 44, 47 e 49 já apresentaram problemas de inundação (FIG. 31).

Apesar de altos volumes precipitados não condicionarem diretamente as inundações em Belo Horizonte, períodos com acentuado déficit proporcionam menor ocorrência. O período de 1951 a 1960 é um exemplo disto ao não ser constatada nenhuma inundação na bacia do rio Arrudas, coincidindo com a maior quantidade de anos com volumes precipitados abaixo da média histórica para toda a série de dados de precipitação em análise (FIG. 31).

No período de 1961-70 os problemas de inundação voltam a assolar Belo Horizonte de forma mais grave. As ocorrências que se restringiam a quinze entre 1941-50 saltam para 24 ocorrências neste intervalo (TAB. 15). Retornam os problemas de inundação no córrego do Leitão e há o aumento das ocorrências na zona central de Belo Horizonte, sobretudo na bacia elementar 4110011, único caso de acima de 5 ocorrências de inundação (FIG. 34).

A causa pode ser correlacionada às mesmas variáveis dos períodos anteriores, os índices pluviométricos altos para o período, a expansão significativa da mancha urbana de maneira desordenada e as canalizações existentes.

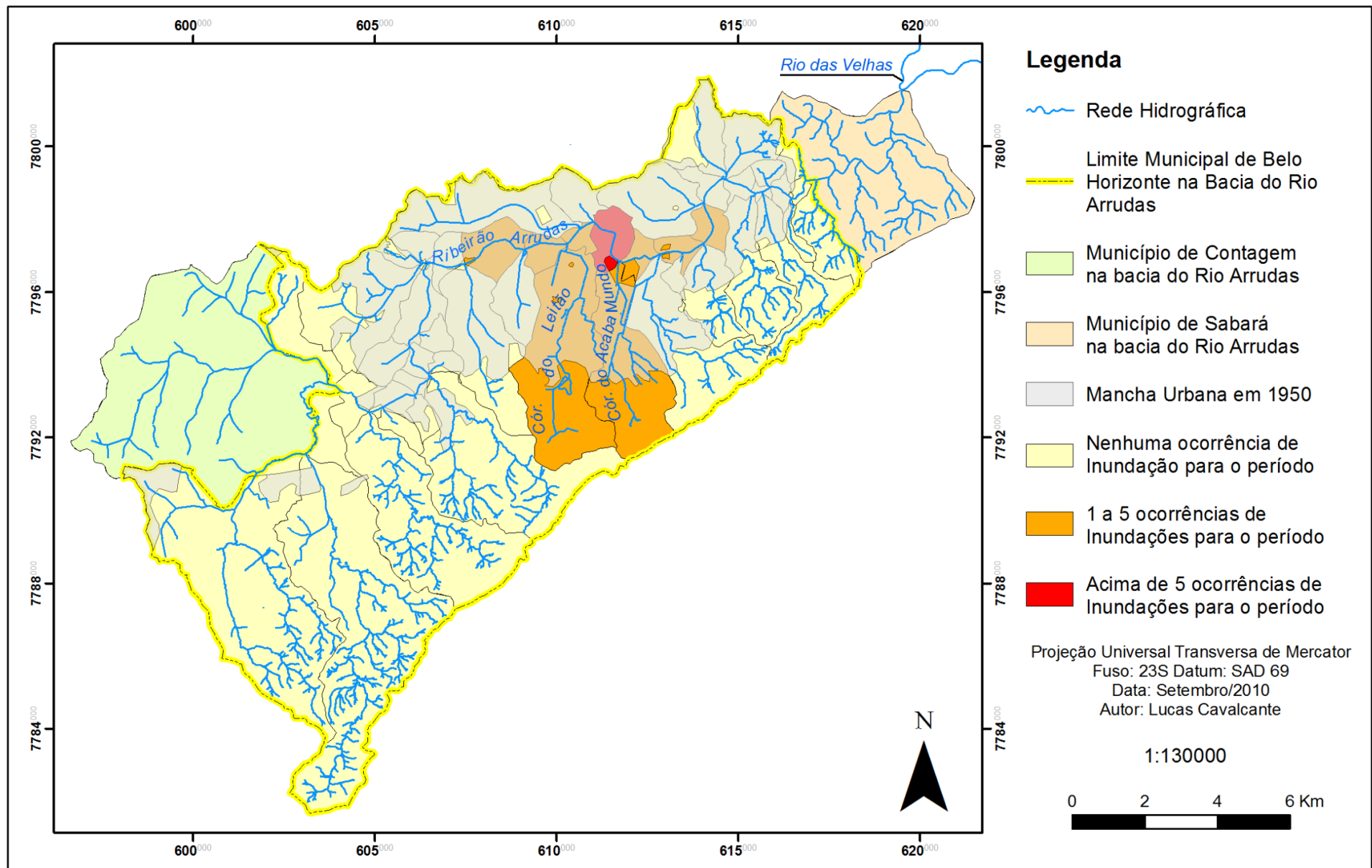


FIGURA 34 – Ocorrência de inundações para o período de 1961-1970
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

Entre 1961-1970 houve variações bruscas da precipitação com anos de chuvas muito acima da média histórica (1962, 1964 e 1965) e ano de acentuado déficit (1963). Observa-se que para o ano de 1962 a frequência das ocorrências não acompanha o acentuado volume precipitado, 500 mm a mais do que a média (FIG 31), apresentando apenas um único relato de inundação na bacia. Já para os anos de 1964 e 65 pode-se inferir a precipitação como importante causa das inundações, pois as maiores ocorrências para o intervalo em análise coincidem com os anos de maiores índices pluviométricos.

TABELA 15 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1961-1970

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
4110008	Planície do rio Arrudas	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
4110009	Planície do rio Arrudas	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
4110010	Planície do rio Arrudas	1	-	-	-	1	-	1	-	1	1
4110011	Planície do rio Arrudas	1	1	1	2	1	-	1	-	1	1
4110012	Planície do rio Arrudas	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
4110013	Planície do rio Arrudas	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
4110014	Planície do rio Arrudas	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
4111600	Cór. do Leitão	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
4111900	Cór. do Acaba Mundo	-	-	1	2	1	-	-	-	-	-
Total		2	1	3	6	6	-	2	-	2	2

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

A mancha urbana entre 1950 a 1977 (FIG 26) teve a maior expansão em área da história de ocupação da bacia. Ressalta-se também o início da ocupação dos contra-fortes da Serra do Curral com a urbanização se expandindo rumo aos vales encaixados e cristas do relevo.

A impermeabilização do relevo íngreme das encostas da Serra do Curral gerou um agravamento das inundações na bacia elementar 4110011 (próximo a antiga Escola de Engenharia da UFMG) que já se apresentava problemática entre 1941-1950 (FIG. 32), constituindo-se na primeira bacia a apresentar mais de cinco ocorrências (FIG. 33). O local apresenta-se como uma área rebaixada do relevo onde o canal apresenta um meandramento brusco que pode, também, ter contribuído ao extravasamento das águas fluviais neste ponto (FIG. 26).

O Córrego do Leitão, que havia apresentado longo período sem inundações, volta a sofrer com o problema. A ocupação de seu alto curso pode ser considerada uma das principais causas do retorno das inundações a bacia, já que para o período foi identificado o início da ocupação dos bairros Santa Lúcia, São Bento e do aglomerado Vila Barragem Santa Lúcia.

Localizados em anfiteatro no alto curso do córrego do Leitão, a urbanização destes bairros trouxeram diversos problemas ambientais, sendo que alguns explicam o agravamento das inundações na bacia. Dentre os impactos destaca-se a movimentação de encostas e erosão acelerada causadas pelas obras de engenharia civil, gerando o assoreamento dos fundos dos vales, em sua maioria canalizados (BAUMGRATZ, 1988).

Para o período de 1971 a 1980, nota-se uma evidente piora do problema tendo um aumento de 24 casos entre 61-70 para 58, dobrando o número de inundações na bacia do rio Arrudas (TAB. 16).

TABELA 16 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar (FIG. 03) para o período de 1971-1980

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980
4110006	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	-	-	-	1	-	-	1
4110007	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-
4110008	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-
4110009	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-
4110010	Planície do Rio Arrudas	1	1	-	1	1	1	1	-	1	-
4110011	Planície do Rio Arrudas	1	1	-	1	1	1	1	-	2	2
4110012	Planície do Rio Arrudas	1	-	1	1	1	1	-	-	1	1
4110013	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	1	1	-	-	1	-
4110014	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	1	1	-	-	1	-
4110015	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	1	1	-	-	1	-
4110016	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
4110017	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
4110018	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-	-	-	-	1	-
4110100	Cór. do Jatobá	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
4110900	Sem Identificação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
4111600	Cór. do Leitão	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
4111700	Cór. do Pastinho	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
4111800	Cór. da Lagoinha	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
4112700	Cór. do Taquaril	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-
Total		3	8	3	3	6	7	4	-	13	11

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

A precipitação para o período não explica tamanho agravamento do problema. Entre 1971 a 1980 apenas os anos de 78, 79 e 80 apresentaram precipitação acima da média histórica, estando os demais anos com índices todos abaixo desta (FIG. 31). Para o ano de 79 e 80 nota-se a influencia do volume precipitado para a ocorrência de inundações, porém em 78 apesar do maior índice precipitado anual para a década em análise não há relatos de casos de inundação.

Sendo assim, o aumento das ocorrências é reflexo, principalmente, da impermeabilização da bacia pela urbanização acelerada observada no período anterior de 1950 a 77, maior expansão urbana de Belo Horizonte em toda sua história (FIG. 26). Apenas os anos de 79 e 80 podem ser correlacionados também a altos volumes precipitados (FJP, 1997).

A expansão urbana sem planejamento condicionou o início das inundações em áreas distantes do centro de Belo Horizonte, com o início dos casos na bacia do córrego Jatobá (FIG. 35). A ocupação e crescimento populacional do Barreiro geraram a expansão da mancha urbana a sudoeste da bacia com o surgimento dos bairros Mineirão, Independência e Petrópolis, no médio curso, e expansão da mancha do baixo curso para o médio através dos bairros Olaria, Tirol, entre outros, todas estas ocupações explicando as ocorrências de inundação nesta bacia para o período.

As inundações no centro da cidade também foram agravadas com a impermeabilização da bacia do rio Arrudas, aumentando o número de trechos de seu leito principal com mais de 5 ocorrências, além do aumento de bacias com 1 a 5 casos (FIG. 35). A bacia do córrego do Taquaril se destaca para o período ao apresentar problema de inundação sem, contudo, ser observado expressiva urbanização da mesma. A explicação as inundações pode ser atribuída à aprovação, pela Prefeitura, do início da mineração da Serra do Curral, no alto curso do córrego, o que pode ter gerado o assoreamento dos canais fluviais.

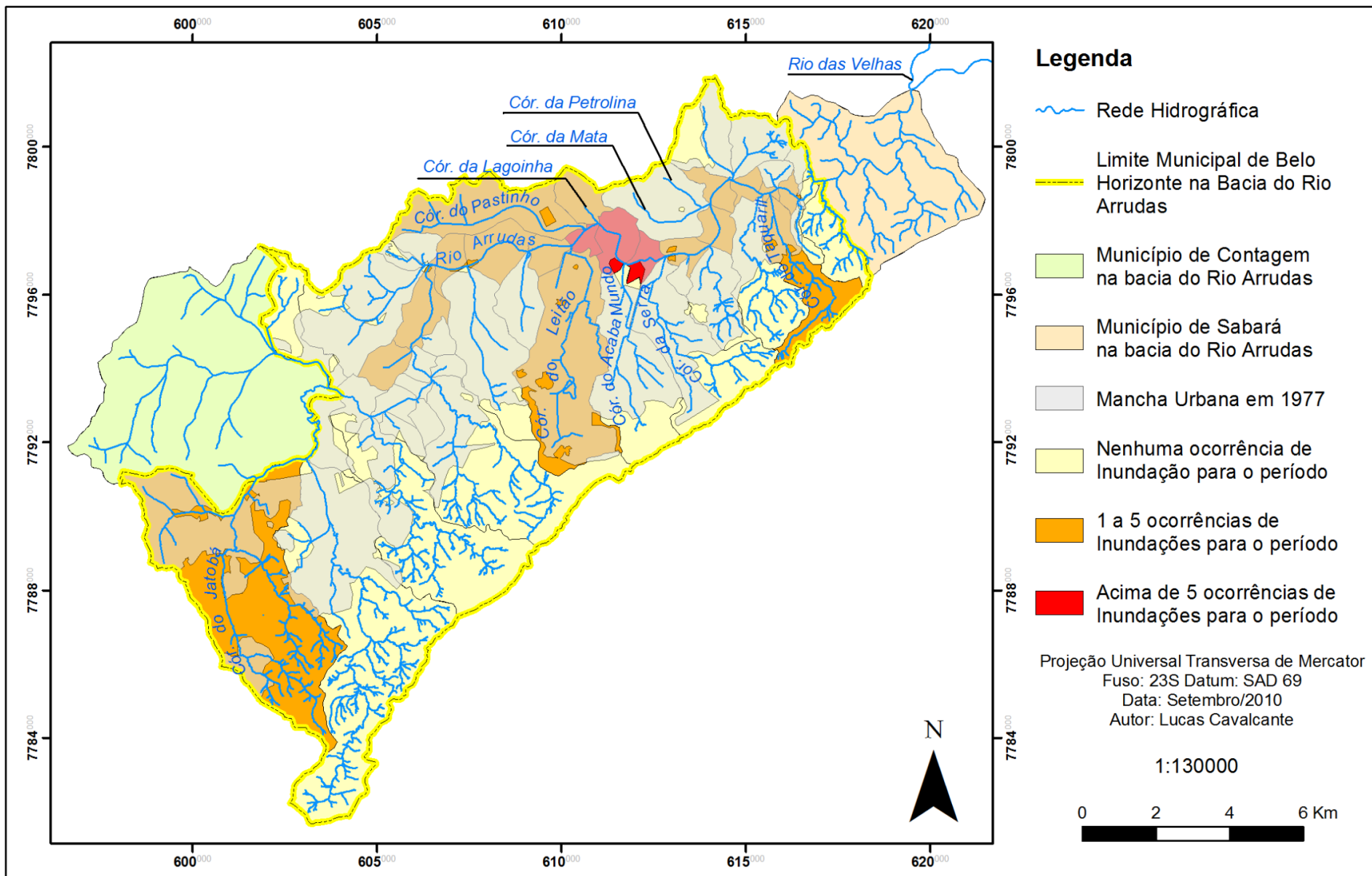


FIGURA 35 – Ocorrência de inundações para o período de 1971-1980
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

Neste período (década de 70) houve a abertura das avenidas Silva Lobo e Av. Barão Homem de Melo. Próximo a esta área houve inundações na confluência dos córregos Piteiras e Arrudas.

As inundações no centro de Belo Horizonte se tornam verdadeiras tragédias nesta década com diversas vítimas fatais, sobretudo nos eventos de 79. Para mitigar o problema, a prefeitura tomou medidas como a substituição das antigas pontes em arco romano sobre o rio Arrudas de forma a aumentar a vazão das águas, já que as mesmas acumulavam a água fluvial. Houve também a abertura de concorrência para o início das obras de canalização do baixo curso do rio Arrudas, desde a ponte do Perrela (Avenida dos Andradas com Contorno) até a Estação de Caetano Furquim (FJP, 1997).

Contudo, as medidas da prefeitura se mostram insuficientes, mesmo porque a impermeabilização da bacia do rio Arrudas já se estendia por cerca de 60% de sua área em Belo Horizonte. A combinação da falta de planejamento durante décadas e as precipitações atípicas entre 1981-1990 resultaram na década em que as inundações mais castigaram a bacia do rio Arrudas em toda sua história.

Entre 1981 e 1985 foram identificados 85 casos na bacia do rio Arrudas (TAB. 17), sendo que para toda a década passada tinham sido constatados 57 ocorrências. Além da piora quantitativa houve também uma disseminação do problema para mais da metade das bacias elementares, bem como um aumento do número de bacias elementares com mais de cinco ocorrências de inundação (FIG. 36).

A piora das inundações vem como reflexo da expansão desordenada da cidade observada até 1977, associado aos altos índices pluviométricos para o período, destacando-se o ano de 1983 que teve 33 ocorrências de inundação e precipitação anual de 2500 mm, aproximadamente 1000 mm acima da média histórica.

Segundo CETEC (1984), a associação do nível d'água alto do rio Arrudas, durante 3 dias consecutivos, solos encharcados e precipitação de 140 mm, com período de retorno de 70 anos, foram determinantes nas ocorrências de inundações observadas em 1983. A concentração das chuvas sobre as nascentes do Córrego Jatobá e Serra também foram determinantes aos grandes estragos trazidos por estas inundações. A manutenção da infraestrutura foi apontada como outro fator determinante as diversas enchentes que ocorreram em 1983 (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984).

TABELA 17 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1981-1985

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1981	1982	1983	1984	1985
4110002	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	1	-
4110005	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	1	-
4110006	Planície do Rio Arrudas	-	-	3	-	-
4110009	Planície do Rio Arrudas	2	-	1	-	-
4110010	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	1	1
4110011	Planície do Rio Arrudas	2	1	6	-	1
4110012	Planície do Rio Arrudas	-	-	2	-	1
4110013	Planície do Rio Arrudas	-	-	4	1	-
4110012	Planície do Rio Arrudas	-	-	2	-	1
4110014	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	-	-
4110015	Planície do Rio Arrudas	2	-	-	-	-
4110017	Planície do Rio Arrudas	-	-	3	-	-
4110018	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	-	-
4110100	Cór. do Jatobá	-	-	-	-	1
4110200	Cór. do Barreiro	2	-	-	-	-
4110400	Cór. do Bonsucesso	-	-	1	-	-
4111100	Cór. do Tejuco	2	1	2	-	1
4111200	Sem Identificação	-	1	1	-	-
4111600	Cór. dos Pintos	2	1	1	2	1
4111700	Cór. do Pastinho	-	-	-	1	1
4111800	Cór. do Leitão	2	-	-	-	-
4111900	Cór. do Acaba Mundo	2	-	3	1	-
4112000	Cór. da Serra	-	-	1	1	-
4112200	Cór. do Cardoso	2	1	-	-	-
4112300	Cór. da Mata/Petrolina	-	-	2	-	2
4112600	Cór. do Navio	-	-	-	1	-
4112700	Cór. Taquaril	-	1	-	-	3
4113000	Sem identificação	2	-	-	-	-
4113100	Cór. Olaria	-	1	-	-	-
Total-		20	7	35	10	13

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

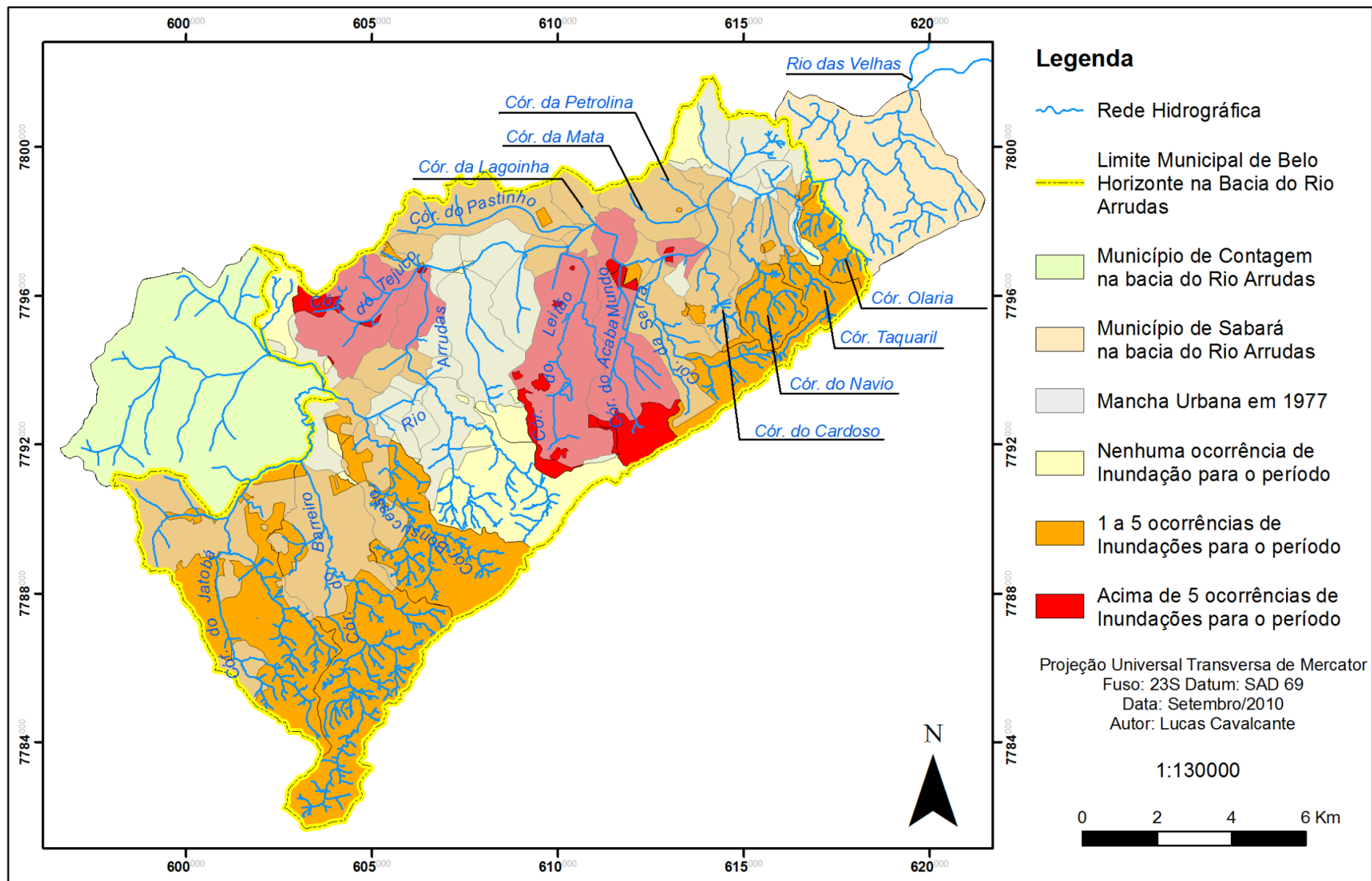


FIGURA 36 – Ocorrência de inundações para o período de 1981-1985
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

Houve grande repercussão as inundações ocorridas durante toda a década de 80, principalmente a piora do problema para o período e a tragédia socioeconômica resultante das inundações em 1983. As grandes intervenções estruturais também chamam a atenção, sobretudo a canalização do rio Arrudas. O projeto que foi acusado de ter sido feito às pressas, sendo elaborado em apenas 6 meses, veio como resposta às inundações de 79 e 80. Em 1981, começaram as obras que sofreram diversas paralisações por falta de recursos, pois a economia brasileira passava por uma grande crise econômica e a canalização alcançava cifras na ordem de bilhões de cruzeiros (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO BÁSICO, 1985 b).

Em 1983, com as fortes chuvas que caíram sobre Belo Horizonte, as obras, que se encontravam em andamento, não foram suficientes para mitigar a inundação e foram feitas várias críticas ao projeto, principalmente sobre a intervenção da Prefeitura apenas no canal do Arrudas, desconsiderando toda a gama de medidas não-estruturais passíveis de aplicação e reconhecidamente mais baratas e eficazes que a canalização (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984). No entanto, os órgãos do município, envolvidos nas obras, não se pronunciaram sobre o assunto e não participaram das discussões mantendo a continuidade dos trabalhos para a canalização do Arrudas.

Outras duas obras foram alvo também de críticas: as barragens Santa Lúcia e Acaba-Mundo. Ambas construídas na década de 70, para contenção de cheias no córrego do Leitão e Acaba-Mundo respectivamente, já se encontravam assoreadas no início da década de 80.

A barragem de Santa Lúcia sofreu assoreamento logo durante seus primeiros anos graças à ocupação de sua bacia de contribuição pelos bairros do São Bento, Santa Lúcia e Vila Santa Lúcia. Como Chin (2006) e Rebouças (2006) observaram em suas pesquisas, durante a implantação da infra-estrutura urbana e ocupação residencial há intensa erosão, que foi responsável pelo assoreamento da barragem. Desde a década de 80 ela exerce papel de barragem de contenção de sedimentos, pois seu volume de retenção está muito baixo (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984).

O caso da barragem do Acaba-Mundo foi mais grave, pois 24 horas após sua inauguração houve seu rompimento. Apesar de a ausência de inundações na bacia, durante a década de 70, ser associada a outras canalizações, transposição de água para o córrego da Serra e também a construção da barragem, na década de 80 a mesma já se encontrava assoreada e sem exercer sua função de mitigação da inundação (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984).

Sendo assim, para o período de 1981 a 1985, a precipitação pode ser colocada como a principal vilã das inundações de 1981 e 1983 (FIG.31). No entanto, fica claro que se não fosse a taxa de urbanização superior a 60% na bacia do rio Arrudas, em Belo Horizonte, ao longo de toda a década de 80, não seria possível tragédia nessas proporções (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984).

Para o período destaca-se o ano de 1985 que apesar de apresentar 750 mm de precipitação acima da média histórica, um dos maiores volumes da série em análise, apresentou 13 ocorrências de inundações, valor modesto em comparação com 1981 e 83.

Apesar de se caracterizar como um período crítico com relação às inundações o intervalo entre 1981-1985, não superou 1986-1990 onde se encontra a maior quantidade de casos de inundação até então, 90 ocorrências (TAB. 18). Destaca-se os anos de 86, 87 e 89 como os principais, correspondendo a aproximadamente 90% dos casos.

Os anos de 87 e 89 apresentam precipitação acima da média histórica, porém com volumes inferiores aos observados nos anos de 83 e 85. No entanto o ano de 1986, apesar de apresentar índices de precipitação aproximadamente 250 mm abaixo da média histórica, pode ter seu grande número de inundações relacionado à influência do grande volume precipitado em 1985 (FIG. 31). Caso as chuvas em dezembro de 1985 tenham sido contínuas estas podem ter encharcado o solo e elevado o nível d'água dos canais fluviais condicionando inundações em janeiro de 1986, repercutindo na elevação dos casos para este período.

A espacialização das inundações por bacia explicita esse alto número de inundações mantendo a tendência histórica de maiores problemas na região do centro e hipercentro de Belo Horizonte, principalmente nos córregos do Leitão (Av. Prudente de Moraes), Acaba-Mundo (Rua Lavras/Av. Nossa Senhora do Carmo) e Pastinho (Av. Pedro II) já problemáticos há décadas (FIG. 37).

TABELA 18 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1986-1990

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1986	1987	1988	1989	1990
4110001	Planície do Rio Arrudas	-	2	-	-	-
4110002	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	1	-
4110003	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	2	-
4110004	Planície do Rio Arrudas	1	-	-	-	-
4110006	Planície do Rio Arrudas	-	7	-	1	-
4110008	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-
4110009	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-
4110010	Planície do Rio Arrudas	-	2	-	-	-
4110011	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-
4110012	Planície do Rio Arrudas	1	-	-	-	-
4110013	Planície do Rio Arrudas	-	-	-	1	-
4110018	Planície do Rio Arrudas	1	-	-	-	-
4110100	Cór. do Jatobá	-	2	-	1	-
4110200	Cór. do Barreiro	-	-	-	1	-
4110400	Cór. do Bonsucesso	1	1	-	-	-
4110600	Sem Identificação	-	1	-	-	-
4110700	Cór. do Cercadinho	-	-	-	1	-
4110900	Sem Identificação	-	1	1	1	-
4111100	Cór. do Tejuco	-	-	-	1	-
4111600	Cór. do Leitão	11	2	-	3	1
4111700	Cór. do Pastinho	1	1	2	-	-
4111800	Cór. da Lagoinha	-	-	1	2	-
4111900	Cór. do Acaba Mundo	6	-	2	1	-
4112000	Cór. da Serra	5	-	-	1	-
4112200	Cór. do Navio	-	-	-	1	-
4112300	Cór. da Mata/Petrolina	2	-	-	2	-
4112400	Cór. da Petrolina	-	-	-	1	-
4112500	Cór. Itaituba	1	-	-	1	-
4112600	Cór. do Navio	1	-	1	-	-
4112700	Cór. do Taquaril	4	-	-	1	-
4112900	Cór. dos Freitas	1	-	-	-	-
4113100	Cór. Olaria	1	-	-	-	-
Total	-	37	22	7	23	1

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

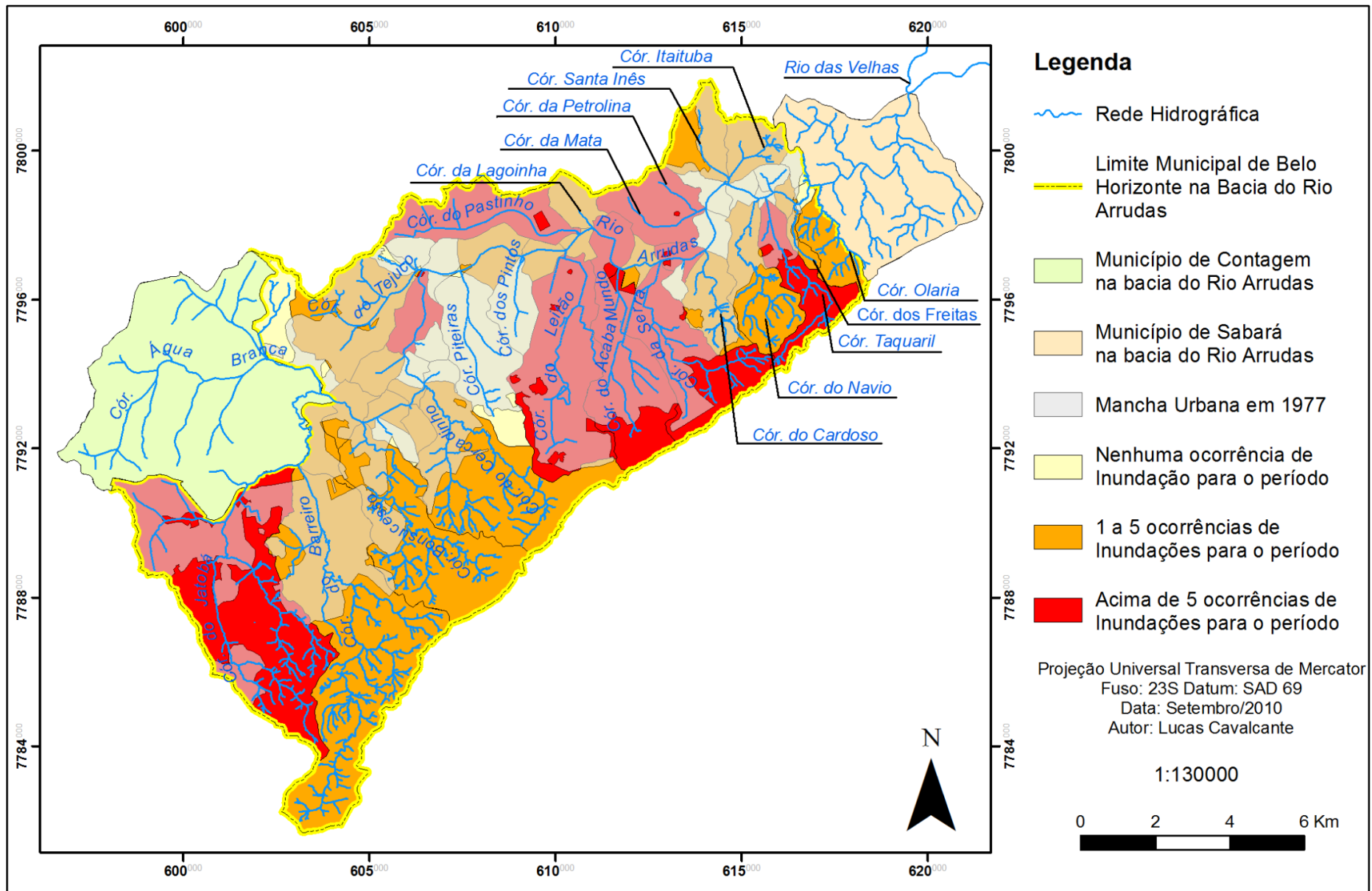


FIGURA 37 – Ocorrência de inundações para o período de 1986-1990
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

Algumas bacias têm problemas de inundação por problemas de planejamento, relacionados à gestão pública ineficiente da Prefeitura ou pela favelização. Os problemas na bacia dos córregos dos Freitas, Olaria e Taquaril têm gênese na implantação de conjuntos habitacionais em áreas não favoráveis à ocupação. Os edifícios foram implantados e não geridos de maneira correta pela Prefeitura, permitindo a formação de amplo bolsão de pobreza em seu entorno impactando os córregos da área. A concessão de terras em área de risco pelo então Prefeito Sérgio Ferrara, em 1988, apenas agravou um processo já em andamento.

No caso dos córregos da Serra e Jatobá a piora pode ser correlacionada a expansão das favelas ou mesmo o início de sua instalação. Os aglomerados ao se apresentarem bastante adensados, gerando alta impermeabilização do solo, e trazerem consigo a degradação dos cursos d'água pelo aumento do volume de lixo lançado nos rios, apresentam grande importância ao aumento das ocorrências de inundação nestas bacias.

A década de 80 foi considerada um período de crescimento das favelas em Belo Horizonte, com as mesmas ocupando 3,4% da área urbana da cidade e residindo nelas 13,2% da população. Em 1995, o índice chega a 21% dos moradores de Belo Horizonte em favelas.

Sendo assim o crescimento dos aglomerados do Morro das Pedras, Serra e Castanheira/Santa Cecília podem ter favorecido inundações durante a década de 80, no entanto, sem ser possível afirmar em que magnitude.

No caso da bacia elementar 411006, na Avenida Tereza Cristina entre os bairros Gameleira e Padre Eustáquio, há problemas de inundação na área desde 1971, com agravamento na década de 80. Tal fato pode ser relacionado à ocupação deste local, mapeados como Zona de Especial Interesse Social (FIG. 27) em 2000 as vilas do Guaratã e Ambrosina seção 1, por aglomerados que se entendiam até as margens do Arrudas e, com a canalização da década de 90, foram retiradas as residências em risco de inundação..

Podemos afirmar que o grande número de inundações na bacia do rio Arrudas na década de 80 pode ser relacionado a várias variáveis destacando-se: as fortes precipitações, surgimento e crescimento das favelas, expansão da mancha urbana entre 70 e 80, tendo estas duas últimas o papel de deixar um passivo de mais de 60% da bacia impermeabilizada.

As obras de canalização do rio Arrudas também podem ter favorecido a grande ocorrência de inundações ao longo do canal principal do curso d'água na década de 80, pelo projeto ter sido executado de montante para jusante, priorizando o centro e expondo ao risco as áreas não canalizadas a jusante, além das diversas paralisações que ocorreram ao longo dos trabalhos por falta de recursos públicos (SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS, 1984.; REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1984;REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 a;REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1985 b).

Findada as obras de canalização do rio Arrudas, ocorre mudança brusca na espacialização das inundações em Belo Horizonte. Feita para suportar vazão máxima com período de recorrência de 200 anos e considerada como “A obra do século” (REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO, 1984), seja por seus custos ou grandiosidade, a intervenção conseguiu reduzir drasticamente as inundações nas planícies ocupadas durante toda a década de 90.

Para o período de 1991-1995 apenas a bacia elementar 4110017, localizada na planície do rio Arrudas na divisa entre os bairros Vera Cruz e São Geraldo, teve caso de inundação no ano de 1993 (FIG. 38; TAB. 19). A ocorrência desta pode ter sua gênese relacionada ao fato da área abarcar a confluência de dois importantes córregos da margem direita (Taquaril e Navio) em um espaço de menos de 500 metros, além do grande volume lançado na área por toda a área canalizada de montante.

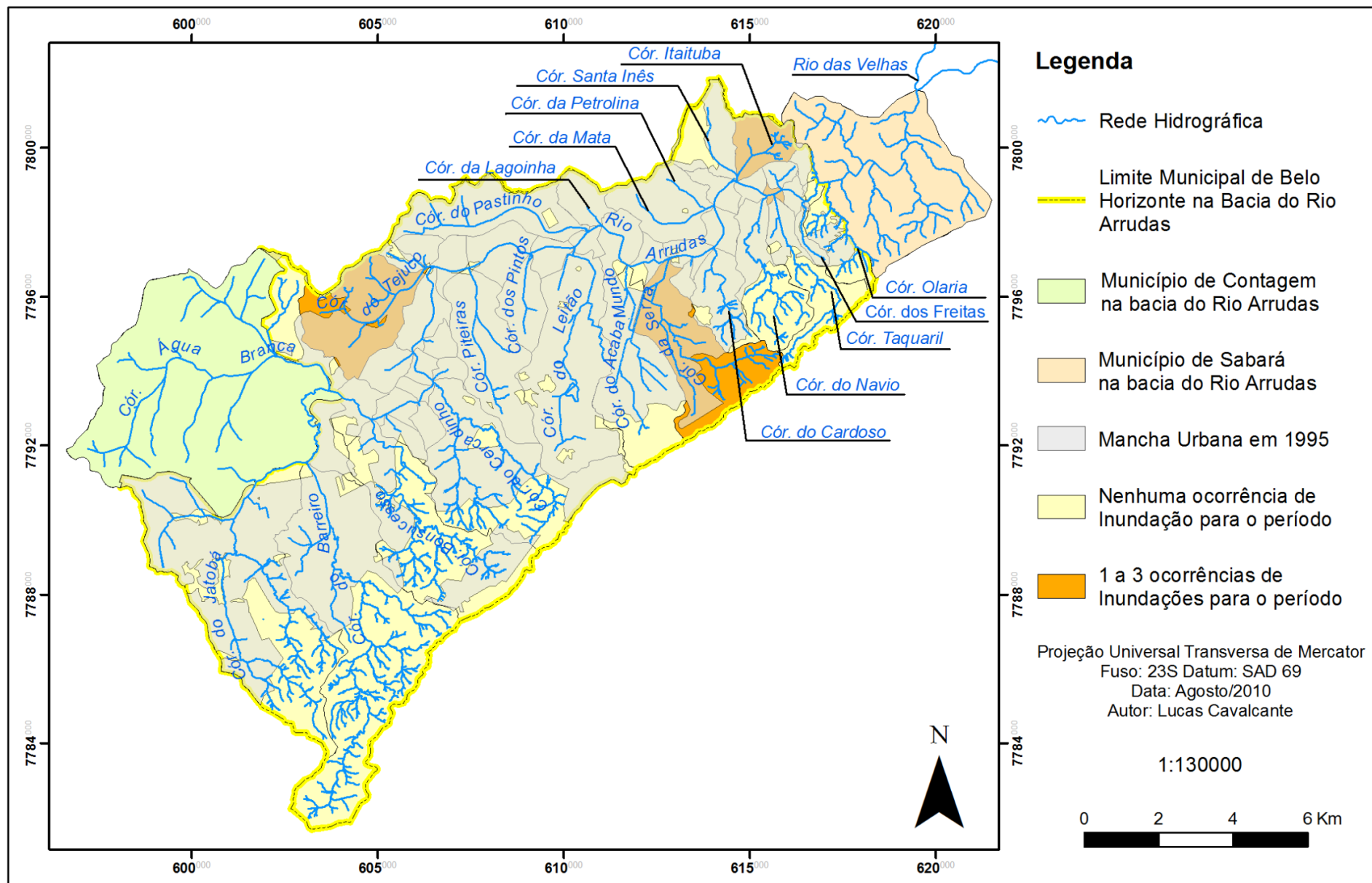


FIGURA 38 – Ocorrência de inundações para o período de 1991-1995
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

TABELA 19 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1991-1995

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1991	1992	1993	1994	1995
4110017	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	-	-
4111100	Cór. Tejuco	-	-	-	1	-
4111200	Sem identificação	-	-	2	-	-
4112500	Cór. Itaituba	-	-	1	-	-
Total	-	-	-	4	1	-

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

Os demais casos ocorreram nas bacias dos córregos Tijuco (4111100), Serra (4112000) e Itaituba (4112500) (FIG. 38), sendo o ano de 1993 o mais problemático (TAB. 19). Não há relação entre este período e um grande volume pluviométrico (FIG. 31), coincidindo os anos com chuvas acima da média com os sem ocorrência de inundação.

A mancha urbana, durante o período de 1977-2005, sofreu adensamento construtivo e pouco expandiu para novas áreas, mesmo porque poucas terras disponíveis a urbanização são encontradas na bacia do rio Arrudas.

Este adensamento construtivo foi comum às bacias com ocorrência de inundação no período apresentando aumento da densidade populacional entre 1991-2000 (FIG. 28). Este processo ocorreu principalmente nos bairros localizados no alto curso e aglomerados, todos localizados nas linhas de cumeada das bacias. Sendo assim, pode-se inferir que essa concentração populacional e construtiva pode ter influenciado inundações nas áreas de várzeas ou baixo curso das bacias, deixando como herança altos coeficientes de impermeabilização (FIG. 29), sobretudo para os Córregos do Tijuco (80,32) e Itaituba (72,34).

Entre 1996-2000, afluentes que não haviam apresentado problemas de inundação no período anterior voltam a causar transtornos à população. O córrego do Jatobá é um deles apresentando uma ocorrência em 1999 (TAB. 20). A expansão e adensamento construtivo na região são identificados pela análise da mancha urbana na bacia (FIG. 26) e aumento da densidade populacional entre 5,01 a 10% (FIG. 28), ambas indicando a dinâmica de urbanização recente da bacia resultando em um coeficiente de impermeabilização expressivo alcançando valor próximo a 50% (FIG. 29).

O retorno das inundações em pontos da planície do rio Arrudas para o período 1996-2000 (FIG. 39), já comumente problemáticos ao longo da história da cidade, chama atenção principalmente por ocorrer em áreas já canalizadas. Bacias elementares como 4110006, Avenida Tereza Cristina na Gameleira, e 4110011, Praça da Estação no Centro, voltam a apresentar casos de inundação, porém o problema que no passado ocorria pela ocupação do leito maior, atualmente pode ser relacionado a falta de manutenção ou problemas de projeto ou mesmo pelo adensamento construtivo da cidade a montante gerando a redução da vida útil do canal.

TABELA 20 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 1996-2000

BACIA ELEMENTAR	Denominação	1996	1997	1998	1999	2000
4110006	Planície do Rio Arrudas	-	1	-	-	-
4110011	Planície do Rio Arrudas	-	-	1	-	-
4110100	Cór. do Jatobá	-	-	-	1	-
4111600	Cór. do Leitão	1	-	-	-	-
4112000	Cór. da Serra	-	-	1	-	1
4112200	Cór. do Cardoso	-	-	1	-	3
4112600	Cór. do Navio	-	-	-	-	1
Total	-	1	1	4	1	5

ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c

No caso da bacia 4110006 é importante notar o início da aplicação da Lei de Uso e Ocupação do Solo (LPOUS nº 7.166/1996) em que grande parte do Córrego do Cercadinho é ocupada e sofre adensamento por ser considerada Zona de Adensamento Preferencial (FIG. 27) na nova legislação. O forte crescimento dos bairros Buritis e Estoril, além da ocupação do Olhos d'água podem ter influenciado o retorno das inundações na Avenida Tereza Cristina, não apenas por impermeabilizar amplas áreas do alto curso, como também pelo assoreamento gerado na macrodrenagem da bacia, podendo justificar as inundações no rio Arrudas em trecho onde a rede de drenagem sofre brusca flexão no sentido Norte-Sul (FIG 39).

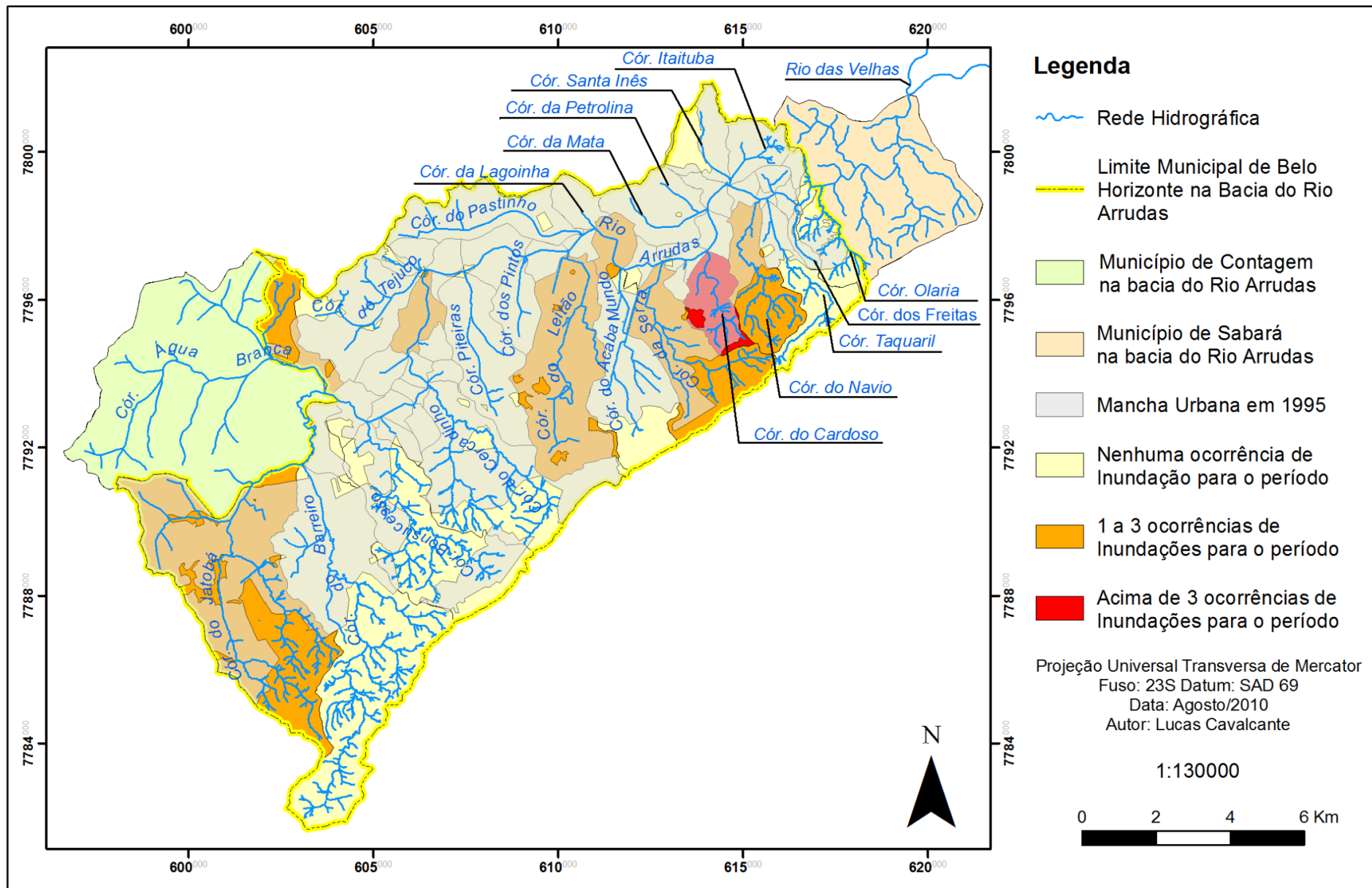


FIGURA 39 – Ocorrência de inundações para o período de 1996-2000
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SUDECAP, 2000 c

A bacia do Córrego do Leitão continua sofrendo com os problemas de inundação históricos graças ao seu alto coeficiente de impermeabilização (71,54%) associado ao adensamento dos bairros São Bento/Santa Lúcia e Aglomerado da Barragem Santa Lúcia, apresentando crescimento populacional de 1,16 a 5% no período. Este adensamento ocorre no alto curso da bacia onde há graves problemas de estabilidade de encostas pela área se localizar sobre os Grupos Sabará e Piracicaba (formações Fecho do Funil e Cercadinho), com presença de xistos e filitos (FIG. 18) com declives forte ondulados a escarpados (FIG. 19), ou seja, uma área problemática ao adensamento

Outro agravante foi a liberação do adensamento do Belvedere a partir da aprovação da Lei nº 7.166/1996. A impermeabilização de topo caracterizado por suas condições ambientais favoráveis a uma alta permeabilidade, gerou impactos sobre as bacias do Córrego do Cercadinho e Leitão, contudo, sem possibilidade de identificar qual a dimensão do impacto sobre o retorno das inundações nestas bacias entre 1996-2000 (FIG. 39).

O córrego do Cardoso se destaca no período como o grande vilão ao apresentar 4 inundações nos anos de 1998 e 2000. A expansão e adensamento construtivo do Aglomerado do Cafezal, localizado em seu alto curso, podem justificar a recorrência do problema (FIG. 39). A bacia que já apresenta coeficiente de impermeabilização de 32,36% ainda sofreu com o crescimento dos bairros da Serra, Cafezal e Santa Efigênia com taxas entre 0,01 a 1,15% (FIG. 28).

Condizente com outros períodos analisados observa-se que os anos com maiores problemas de inundação não acompanham os períodos de maior índice pluviométrico (FIG. 31). Os anos de 1996 e 1997 que apresentaram volume precipitado acima da média histórica apresentaram um caso de inundação, enquanto 1998 e 2000 apresentaram 4 e 5 casos, respectivamente.

O quadro das inundações na bacia do rio Arrudas se agrava no período de 2001 a 2005, com o retorno do problema em várias bacias. Destacam-se os anos de 2003 e 2004 pelo alto volume precipitado (FIG. 31).

Sendo assim, identifica-se que houve uma grande elevação no número de casos de inundação que superou o recorde histórico alcançado pelo período de 1986 a 1990 com 90 casos. Entre 2001 e 2005 foram identificadas 95 ocorrências se tornando o quinquênio mais problemático da história de Belo Horizonte (TAB. 21).

Os casos ocorrem em quase toda a bacia, sendo o maior problema constatados nos afluentes da margem direita. As bacias que se destacam como mais problemáticas são: Córrego do Jatobá, Tejuco, Piteiras, Leitão, Cardoso, Itaituba, Mata e Petrolina (FIG. 40). A maioria delas recorrentemente, ao longo da história de Belo Horizonte, sofrendo com a ocorrência de inundações.

TABELA 21 – Ocorrência de Inundações por bacia elementar para o período de 2001-2005

BACIA ELEMENTAR	Denominação	2001-2005
4110004	Planície do Rio Arrudas	3
4110007	Planície do Rio Arrudas	4
4110008	Planície do Rio Arrudas	5
4110009	Planície do Rio Arrudas	2
4110010	Planície do Rio Arrudas	2
4110011	Planície do Rio Arrudas	2
4110014	Planície do Rio Arrudas	1
4110018	Planície do Rio Arrudas	2
4110100	Cór. do Jatobá	5
4110200	Cór do Barreiro	3
4110500	Sem identificação	4
4110700	Cór. do Cercadinho	3
4111100	Cór. do Tejuco	6
4111400	Cór. Piteiras	7
4111600	Cór. do Leitão	10
4111800	Cór. da Lagoinha	3
4112000	Cór. da Serra	1
4112200	Cór. do Cardoso	10
4112300	Cór. da Mata/Petrolina	11
4112400	Cór. Santa Inês	1
4112500	Cór. Itaituba	5
4112600	Cór. do Navio	2
4112700	Cór. Taquaril	3
Total	-	95

ADAPTADO DE: SMURBE, 2006

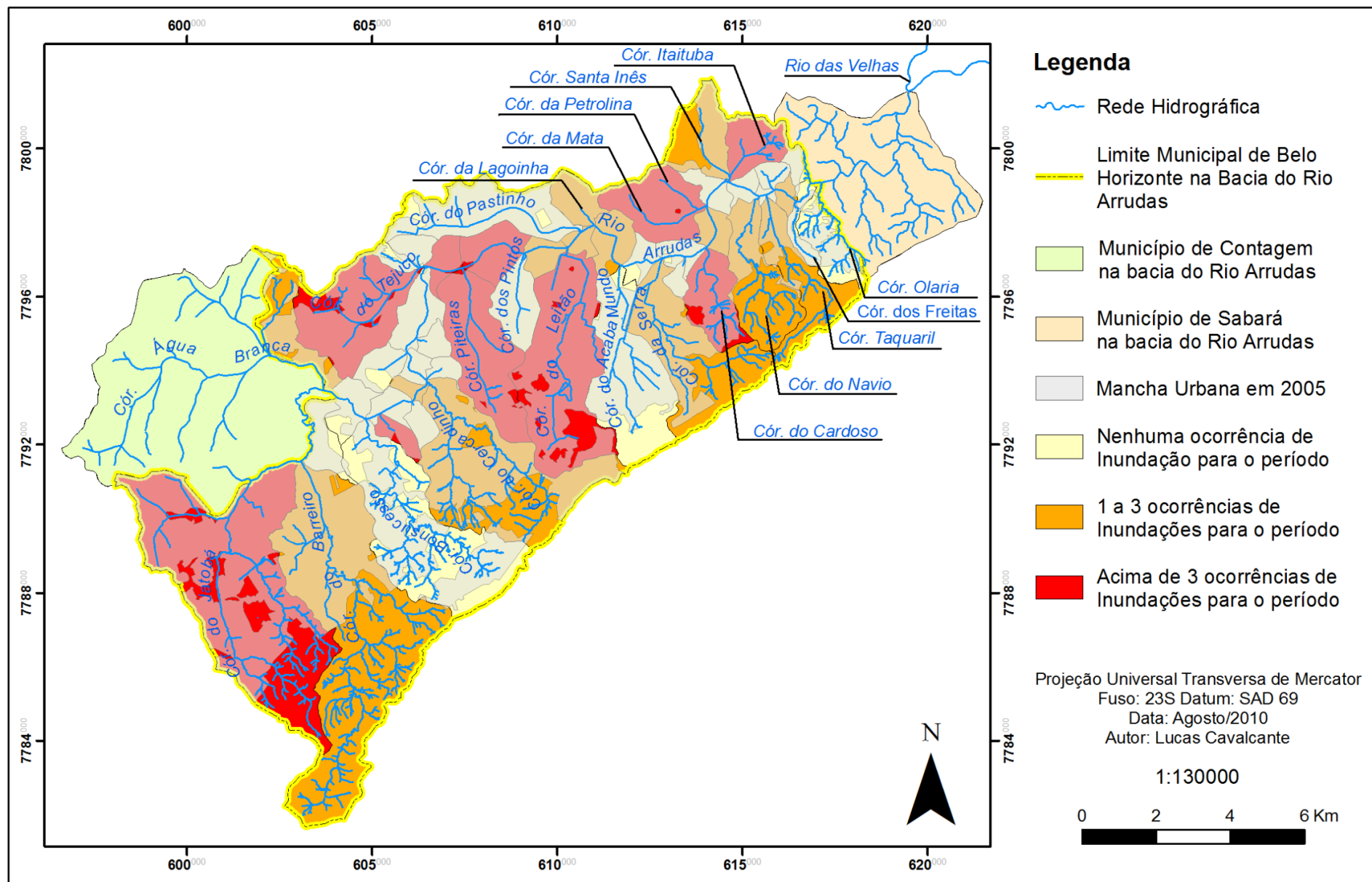


FIGURA 40 – Ocorrência de inundações para o período de 2001-2005
 ADAPTADO DE: PBH, 1995; SMURBE, 2006

O centro da cidade também sofre com o problema, com o leito maior do rio Arrudas, sofrendo enchentes nos bairros Calafate/Padre Eustáquio, Centro (Antiga Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais e Praça da Estação) e Alto Vera Cruz/São Geraldo/Granja de Freitas.

Algumas bacias com problemas de inundação apresentam correlação com áreas de expansão da mancha urbana para o período (FIG. 26). O Córrego do Jatobá com a ocupação do bairro Águas Claras, o Córrego Bonsucesso e o desenvolvimento do bairro homônimo e o bairro Camargos na bacia do Tejuco podem ter favorecido a ocorrência dos casos nestas regiões.

Não há relatos de canalizações para o período, pois a maior parte das medidas estruturais foi implantada nas décadas de 70 e 80, porém para o período de 2001-2005 observa-se o final da urbanização da bacia do Arrudas, com grande parte do solo impermeabilizado, afluentes e o próprio rio Arrudas apresentando-se canalizados em grande parte de sua extensão.

Durante a história de ocupação de Belo Horizonte houve uma forte correlação entre urbanização e inundações. As bacias que sofreram mais com o processo foram as de maior índice de impermeabilização.

Enquanto há expansão da cidade, principalmente entre a década de 50 a 77, observa-se o aumento das inundações urbanas, como também sua maior distribuição pela bacia. O problema que se restringia ao centro começa a se agravar neste e se espalhar para outras regiões.

O agravamento das inundações no Centro são reflexo da ocupação e impermeabilização das áreas de montante via urbanização. A história de Belo Horizonte se assemelha aos estágios de ocupação de uma bacia proposta por Tucci (2000), onde a cidade se instala nas áreas rebaixadas a jusante, no caso da área de estudo relevo de colinas e planícies, com a urbanização se desenvolvendo para montante em direção as vertentes mais íngrimes e aos interflúvios. A impermeabilização das porções média e alta das vertentes da bacia prejudicam o Centro original que tem seus problemas de inundação agravados, exigindo constantes obras no canal construído de forma a compatibilizar com a vazão e sedimentos/resíduos provenientes da área de contribuição.

Com o desenvolvimento urbano pós-60, esse processo se agrava com a expansão da mancha urbana acompanhando o crescimento populacional de Belo Horizonte e com a pressão por canalização dos afluentes do Arrudas com vista a ligar os novos bairros ao centro, repercutindo novamente com o agravamento das inundações do centro.

Conforme a canalização se processa sobre os afluentes, maior é a vazão e sedimentos lançados no canal do rio Arrudas, sendo comum a implantação de ruas e avenidas sanitárias resultar em novos pontos de inundação no canal principal e o agravamento nos locais a jusante já afetados pelo problema. Este fato perpassa todos os períodos históricos, principalmente para a década de 80. Período mais rico ao entendimento do problema, a associação de precipitações com grande volume e duração, bacia com alta taxa de impermeabilização, herdada da década de 70, crescimento dos aglomerados, muitos localizados em áreas de cabeceira, e rios em grande parte canalizados e sem manutenção foram responsáveis pela gravidade das inundações para o período.

Após a década de 80, o término da canalização do rio Arrudas, amorteceu o problema das inundações no Centro da cidade durante os anos 90, porém a partir de 2000 o problema retorna com grande intensidade. O longo período sem inundações pode ter gerado um descuido da Prefeitura ante a manutenção das galerias pluviais e macrodrenagem, que foi repercutir no retorno das inundações a partir de 2000.

O volume precipitado desde 2001-2005 pode ser outra explicação a retomada das inundações a um nível nunca visto. Pode ser resposta também da significativa mancha impermeabilizada que ocupa a bacia, que apesar de ter aumentado pouco, ao longo da década de 90, sofreu forte adensamento, ou seja a urbanização que já era insustentável por sua dimensão se tornou mais impermeabilizada nos últimos anos.

A influência do lixo para a redução da efetividade dos canais também deve ser considerada, pois a cidade encobriu grande parte dos solos da bacia, evitando o assoreamento por sedimentos, no entanto o lançamento de lixo pelos habitantes não reduziu, podendo estes resíduos ser responsáveis pelo entupimento de galerias e canais de drenagem, favorecendo as inundações entre 2001-2005.

Pode-se então observar como inundações pela ocupação das margens foram agravados por fatores advindos da urbanização da bacia (REBOUÇAS et al., 2006). A ocupação do leito maior do rio Arrudas ao demandar obras de infra-estrutura geraram novos pontos de inundação. Como resultado da ocupação da bacia do rio Arrudas são encontrados rios negligenciados na paisagem, sendo lembrados e “cuidados” apenas no período das chuvas, quando a inundação faz a população se lembrar que os mesmos existem.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das inundações em Belo Horizonte desde 1930 a 2005 mostram que o problema teve alta variabilidade ao longo do tempo. A FIG. 41 demonstra como o problema foi se agravando conforme a cidade expandia, sobretudo para o período de 1961 a 1981.

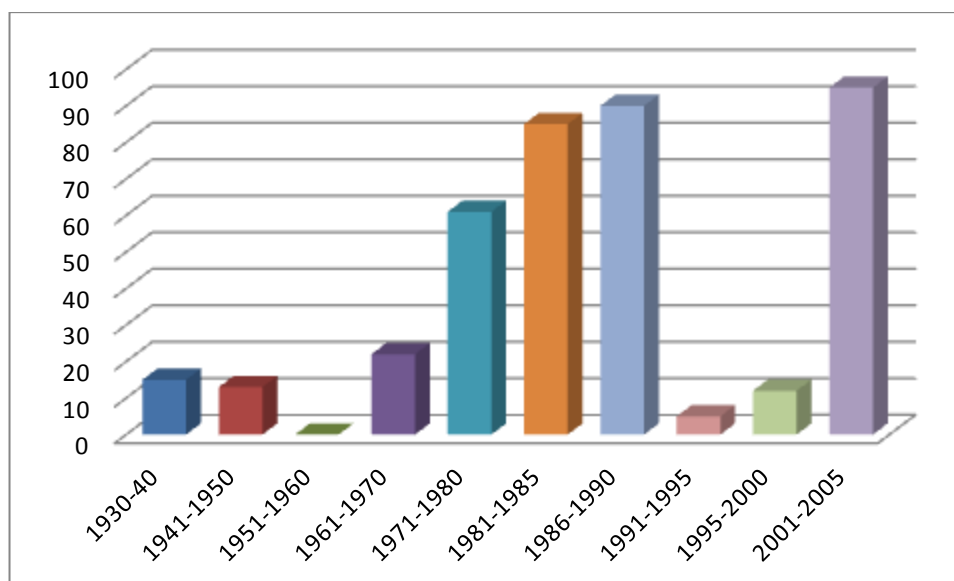


FIGURA 41 - Número de Ocorrências de inundações por período analisado

Na década de 80, apesar da pouca expansão da mancha urbana de Belo Horizonte, observa-se grande número de inundações condicionadas principalmente pela alta taxa de impermeabilização da bacia e precipitação elevada. Após a canalização do Arrudas e pela precipitação próxima à média, há uma significativa redução do problema para a década de 90. No entanto de 2001 a 2005 o problema retorna a níveis alarmantes.

Os fatores responsáveis pelas inundações variam para cada período podendo destacar-se como comum a todos a impermeabilização, porém há variações significativas conforme o período em análise (TAB. 22).

Nota-se que as bacias elementares referentes à calha do rio Arrudas (411001 a 411019) sofrem com as inundações, em primeiro momento, pela ocupação do leito maior do mesmo. Com o abjetivo de “solucionar” o problema são feitas as canalizações do curso fluvial, no entanto com recorrência das inundações conforme se processa a impermeabilização das áreas de montante e conseqüente redução da vida útil da infra-estrutura. Sendo assim foi considerado o principal fator de inundações a ocupação ribeirinha e posteriormente a impermeabilização à montante das áreas canalizadas.

Para os afluentes do Arrudas há maior variação dos possíveis fatores. No entanto, a precipitação elevada para o período se destaca conjuntamente com a urbanização, início da ocupação, e impermeabilização. Como visto pode-se observar que a espacialização do problema ao longo do tempo se relaciona em muito com as frentes de expansão da cidade, sendo comum o início de ocorrência de inundação estar ligado à ocupação da bacia e posteriormente à continuidade do processo como reflexo da impermeabilização.

Tal fato é comprovado pelas bacias do Córrego do Leitão (4111600) e Acaba-Mundo (4111900), que apresentam inundações desde o início do período de análise, por serem as bacias onde foi implantado o núcleo urbano de Belo Horizonte, e apesar das medidas adotadas de controle de enchente (sobretudo estruturais buscando o retardamento ou aceleração da vazão) há o retorno do problema sempre que a quantidade de chuvas ultrapassa o volume de projeto das obras (TAB. 22).

No caso do Córrego do Acaba-Mundo é interessante notar a transposição de suas águas ao córrego da Serra, vizinho. A medida implantada, na década de 70, repercutiu na ocorrência de inundações neste a partir de 1981 e até 2005. A favelização, impermeabilização e adensamento construtivo sofrido nesse período também contribuem para a ocorrência de inundações.

O início da ocupação urbana e conseqüente impermeabilização do solo se colocam como as principais causas de inundação em quase todas as bacias elementares, sendo apenas duas (Navio - 4112200 - Taquaril - 4112700) relacionadas a outras causas. As outras treze bacias com mais de 10 ocorrências de inundação apresentaram-se ou na calha do arrudas (FIG. 42) ou com coeficientes de impermeabilização acima de 50% (FIG. 29).

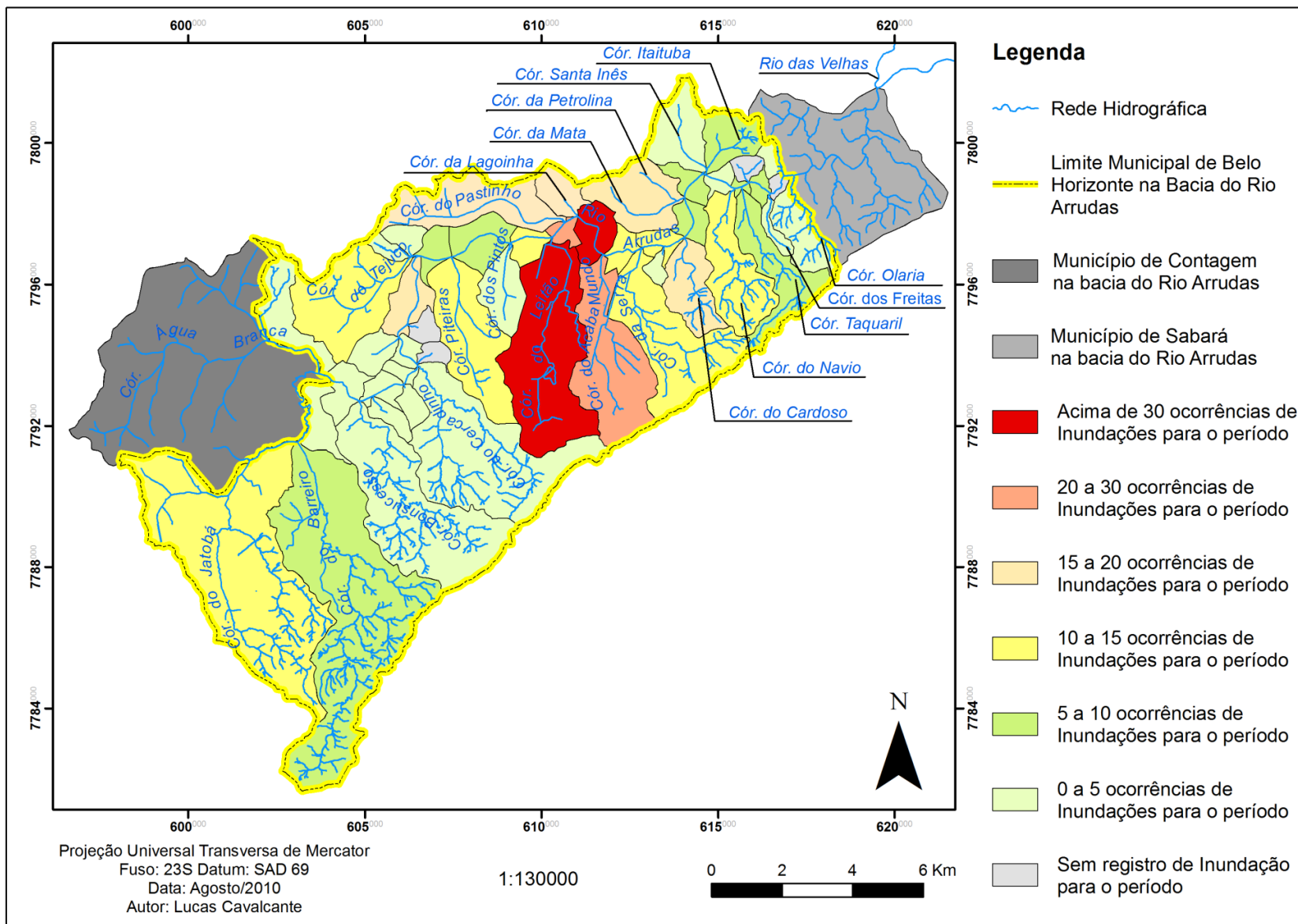


FIGURA 42 – Ocorrência de inundações para o período de 1930-2005
 ADAPTADO DE: SUDECAP, 2000 c; SMURBE, 2006

Para o Córrego do Navio parte do problema pode ser relacionado ao posicionamento de sua mancha impermeabilizada em seu baixo curso e o adensamento construtivo que a área vem sofrendo. No caso do Taquaril observa-se que as inundações coincidem com o período de implantação de mina de minério de ferro, em sua cabeceira, podendo ser relacionado ao assoreamento do curso d'água. Já o retorno do problema de 2001 a 2005 não é certo, mas a favelização pode ser um dos possíveis fatores contribuintes, porém para esta bacia exigem-se mais estudos de detalhe sobre as mudanças de uso e ocupação do solo na bacia para o período.

Outra bacia que exige atenção se refere ao Córrego do Cercadinho (4110700), canalizado em parte para dar lugar a Avenida Tereza Cristina. Interessante notar o início dos problemas de inundação apenas para o período 2001-2005. Foram colocados como possíveis fatores o elevado índice de impermeabilização, próximo a 40%, e o adensamento construtivo no Belvedere, Olhos d'água e demais bairros localizados em seu alto curso.

Além dessas bacias que se destacam há outras que tem inundações restritas ao longo da história do município, apresentando desde uma a dez ocorrências nesses 75 anos, em análise (FIG. 42). Nota-se que a maioria destas apresenta relação intrínseca com períodos de piora nas inundações da bacia, principalmente a década de 80 e de 2001 a 2005, períodos em que a precipitação elevada associada à mancha urbana extensa condiciona inundações nos locais habituais e em locais que não sofriam com este problema, piorando o quadro em toda a bacia.

As bacias elementares com mais de 10 ocorrências de inundação se localizam quase que exclusivamente no médio curso da bacia do rio Arrudas, sendo o córrego do Jatobá a única exceção (FIG. 42). A geomorfologia explicaria parte desta concentração espacial do problema já que a bacia hidrográfica do rio Arrudas apresenta forma em que o vale se afunila gradativamente quanto mais próximo de sua foz com o rio das Velhas. Tal fato condiciona à rede de drenagem, de ambas as margens, extensões mais curtas e padrão de drenagem mais retilíneo se comparado aos cursos d'água do alto curso. Como resultado os afluentes do Arrudas tem menor tempo de concentração e vales mais encaixados do que os afluentes do alto curso. Além da geomorfologia, no médio curso se encontra o centro da cidade, onde se associam planícies largas e alto grau de ocupação local e a montante, refletindo na piora do problema neste trecho.

Além da ocorrência de inundação preferencialmente no fundo de vale do rio Arrudas, observa-se sua maior gravidade nos afluentes da margem direita (FIG. 42), sendo que a maioria se encontra em relevo de crista com vale encaixado (FIG. 20) em declives forte ondulado a escarpado (FIG. 19), excetuando-se o Córrego do Jatobá (4110100) em colina e declives forte ondulados.

Na margem esquerda os córregos do Tejuco (4111110) e Mata/Petrolina (4112300) se destacam, pela geomorfologia do segundo ser responsável pelas inundações no primeiro, já que os dois córregos confluem com o rio Arrudas em canal fluvial único (FIG. 42).

A geomorfologia explica grande parte das ocorrências de inundação, no entanto a impermeabilização se mostra como o principal agravante do processo, ao dar início a ocorrências nas planícies de inundação e depressões do relevo ocupadas. A chuva é observada como a grande propulsora das inundações, pois décadas de estiagem, como a década de 50-60, e com elevados volumes pluviométricos, como a década de 80, influenciam a ocorrência ou não de inundações. No entanto, fica evidente durante a pesquisa que o volume precipitado não possui correlação direta com aumento das inundações, pois anos de volumes expressivos como 1985, chegando ao segundo maior índice volumétrico, não apresentou grande quantidade de casos. Contudo, para os períodos de estiagem a correlação é maior sendo comum que os anos de menores volumes apresentem menos inundações. Tal consideração concorda com os estudos de Lucas (2007) onde os piores casos de inundação não se relacionam em muitos casos ao excesso de chuvas, mas a sua duração e intensidade.

Sendo assim, para análise mais aprofundada dos diversos anos de inundação faz-se necessário análises mais pormenorizadas, com dados que vislumbrem dias consecutivos de chuva, volumes precipitados por evento e distribuição na bacia. No entanto as análises puramente climáticas permitem a compreensão da frequência das inundações, pois a mesma só ocorre se houver precipitação acima da capacidade de vazão dos canais fluviais e artificiais da bacia do rio Arrudas, enquanto a localização das ocorrências estão, sobretudo ligadas a ocupação de áreas ribeirinhas, brejos e outros locais naturais de extravasamento das águas fluviais, além problemas de urbanização como drenagens insuficientes e sem manutenção, etc (REBOUÇAS et al., 2006).

Apesar da inundação ser um fenômeno natural e essencialmente físico foi observado como as inundações são agravadas pela visão do solo urbano como mercadoria, desigualdades econômicas/sociais, ações do poder público, entre outras questões essencialmente sociais (BRAGA & CARVALHO, 2003). Para o caso do rio Arrudas as canalizações são um exemplo do planejamento urbano agravando as inundações. Inicialmente implantadas como forma de mitigar as inundações ribeirinhas, a partir de 1960 tornam-se a alternativa mais viável, economicamente, de implantação de ruas e avenidas necessárias para interligar as áreas desconexas da mancha urbana de Belo Horizonte. A canalização do Arrudas é a evidência máxima de como a mitigação de inundações torna-se secundário ante a demandas da sociedade como a criação de um anel rodoviário de interligação entre Sabará, Belo Horizonte e Contagem.

Outras medidas estruturais, e sobretudo não-estruturais, comprovadamente mais eficientes e baratas, como medidas de redução das superfícies impermeáveis, controle da erosão do solo, controles estruturais de fluxo (WARD & TRIMBLE, 1995) e mesmo o projeto DRENURBS (MACEDO, 2009) tiveram pouco espaço de aplicação nesse contexto de construção de avenidas sanitárias.

As duas barragens criadas pela Prefeitura tiveram problemas que demonstram como a Gestão Pública prejudicou a eficiência de algumas medidas estruturais aplicadas pelo órgão municipal. A barragem de Santa Lúcia sofreu assoreamento em um período de menos de 5 anos, perdendo sua função inicial de reservatório de contenção de enchentes para exercer o papel de receptora de sedimentos. Já a barragem do Acaba-Mundo rompeu-se 24 horas após sua inauguração (FJP, 1997), além da transposição de suas águas para o córrego da Serra ter gerado o início de seus problemas de inundações.

A única medida não-estrutural aplicada foi o zoneamento do Uso e Ocupação do Solo de Belo Horizonte, que começou a considerar as áreas de risco e inundação apenas a partir de 1996, quando grande parte das planícies e áreas de risco já se encontravam ocupadas. No caso do córrego Piteiras e Cercadinho a falta de visão holística do zoneamento permitiu a ocupação intensiva do solo nos bairros Estoril, Buritis e Belvedere, repercutindo no início dos problemas de inundação nas bacias em que se encontram para o período de 2001 a 2005

Reconhecidamente importantes a efetividade das medidas estruturais, perpassando grande parte das orientações para a melhor prática de manejo para as águas urbanas (WARD & TRIMBLE, 1995), as medidas não-estruturais não foram abarcadas pelo Planejamento da Prefeitura que, ao canalizar as bacias sem uma visão holística do problema, foi agravando o problema das inundações no centro até o ponto de ter que gastar milhões com o aprofundamento do rio Arrudas na região. Contudo a “obra do século” da década de 80 tem reduzida sua vida útil, explícito a partir do retorno das inundações em 2001-2005, graças ao descaso com o controle do adensamento construtivo da cidade e falta de manutenção das estruturas.

A ineficiência das medidas implantadas se encontram materializadas no espaço de Belo Horizonte através de obras caras que não conseguem mitigar as inundações ou que têm sua vida útil prejudicada pela falta de uma Gestão Integrada da Bacia.

Sendo assim, foi observado em 2005 o resultado de décadas de intervenções pontuais sobre os recursos hídricos e falta de controle do uso e ocupação urbano ao longo de toda a história pretérita de ocupação da bacia do rio Arrudas. A mancha urbana direcionada pelo mercado de terras foi se estendendo rumo às Cristas da Serra do Curral e ocupando áreas importantes de infiltração da água da chuva, como a superfície ondulada do Belvedere, por exemplo. As áreas não ocupadas da bacia do rio Arrudas são insuficientes em extensão, menos de 30% da área total da bacia, e muitas delas apresentam alto declive em rochas de baixa permeabilidade, sofrendo ainda com processos erosivos, ou seja comprometidas com relação a sua função de áreas de infiltração da água da chuva. Quanto aos cursos d'água apresentam-se hoje degradados pelos efluentes sanitários e escondidos do olhar da população.

Para tentar reverter este quadro de degradação restam adotar medidas de controle na fonte ou distribuída (REBOUÇAS et al., 2006), numa tentativa de aumentar a infiltração ou captação da água de chuva nos lotes localizados na bacia do rio Arrudas. Por não haver espaço disponível e/ou viabilidade econômica para implantação de grandes estruturas de mitigação de inundações, como as bacias de retenção ou mesmo recuperação da vegetação das áreas degradadas não ocupadas da bacia do rio Arrudas, as intervenções a nível dos lotes torna-se a melhor maneira de intervenção.

Há outras medidas de mitigação igualmente viáveis como recuperação das áreas degradadas, valas de infiltração, meio fios permeáveis, entre outros, porém sua implementação e efetividade a realidade da bacia do rio Arrudas vai de encontro a outra necessidade da área que são as pesquisas sobre sua dinâmica ambiental. O presente estudo conseguiu esboçar algumas variáveis e sua relação com as inundações, no entanto outras não foram abarcadas como a localização e quantidade de processos erosivos, as mesmas informações para o lixo recolhido pela SLU nos córregos e galerias de drenagem, extensão das áreas verdes com função de infiltração da água da chuva ainda preservada, estudos mais pormenorizados para cada bacia elementar, entre outros.

Restam ainda dúvidas quanto aos motivos da inundação em algumas bacias, falta um melhor detalhamento da dinâmica das chuvas, principalmente em termos de duração e intensidade, dados mais detalhados das atividades de canalização empreendidas e casos de inundação por ano para o período 2001-2005, entre outros. Sendo assim muito ainda precisa ser feito e pesquisado.

Contudo o presente trabalho conseguiu levantar informações importantes sobre a dinâmica de inundações na bacia do rio Arrudas e suas possíveis causas ao longo do período de 1930 a 2005. Pode-se observar como a espacialização dos casos é condicionada à expansão da mancha urbana de Belo Horizonte e como outras variáveis importantes, principalmente canalização e precipitação, podem explicar sua localização.

Sendo assim surge a necessidade de mais pesquisas de detalhe sobre o rio Arrudas para que se possa, enfim, vislumbrar, mesmo que superficialmente, o complexo sistema ambiental existente e sua relação com as atividades humanas, repercutindo em medidas de mitigação das inundações mais eficazes ambiental e economicamente.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSIS, Wellington Lopes. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial*. 299 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

AYOADE, J. O. Introdução à climatologia para os trópicos. Tradução de M.J. Z. Santos. 10. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 332 p apud LUCAS, Taíza de Pinho Barroso. *Chuvras persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

BALBI, Diego Antônio Fonseca. *Metodologias para a elaboração de planos de ações emergenciais para inundações induzidas por barragens*. Estudo de caso: Barragem de Peti-MG. 2008. 336 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008.

BARBOSA, G.V. e RODRIGUES, D.M.S.. O Quadrilátero Ferrífero e seus problemas geomorfológicos In: II CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 1965. *Boletim Mineiro de Geografia*, 3-35 apud SILVA, A. B.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W.; VIANA, C. S. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte: projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; relatório final*. Belo Horizonte: FUNDEP/UFMG-IGC, 1995. 150 p.

BARBOSA, G.V. *Notas sobre o sítio e a posição de Belo Horizonte*. Belo Horizonte, 1967. Separata de: Revista da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: 1967, v. 17. 9-28 p. apud BAUMGRATZ, S.S. O Planejamento Urbano de Belo Horizonte e seus Problemas Geomorfológicos. *Geografia*, Belo Horizonte, N° 13, V.25, p. 117-131, Abril, 1988.

BAUMGRATZ, S.S. O Planejamento Urbano de Belo Horizonte e seus Problemas Geomorfológicos. *Geografia*, Belo Horizonte, N° 13, V.25, p. 117-131, Abril, 1988.

BRAGA, R.; CARVALHO, P. *Recursos Hídricos e Planejamento Regional*. 1ª Ed. 2003. Laboratório de Planejamento Regional (DEPLAN). Rio Claro, 131 p.

CHAMPS, José Roberto Borges. *Planejar a Drenagem Urbana : Menos Inundações e Mais Qualidade de Vida*, 1.999 apud SUPERINTÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL a. *Plano diretor de drenagem de Belo Horizonte. Análise Integrada do sistema de drenagem de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Magna Engenharia Ltda, 2000, Volume I, 194 p, Relatório.

CHIN, A. Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*. Arlington, v. 79, n.1, p. 460-467, Junho 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002637>. Acesso em: 10/10/2009.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: E. Blucher: Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo, 1981.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Geomorfologia*. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: 1991. 188p.

COSTA, Walter Duarte; REBOUÇAS, Aldo da Cunha. *Caracterização das condições de uso e preservação das águas subterrâneas do município de Belo Horizonte - MG*. 2002, 350 [55] p. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, 2002.

CUNHA, Sandra Baptista da; GUERRA, Antonio José Teixeira. *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. 345 p.

DAWDY, D.R. *Knowledge of sedimentation in Urban environments*. In: Journal of the Hydraulic Division, ASCE, v. 93, Ser. HY, n.6, p.235-245, Nov. 1967 apud REBOUCAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil*. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 2. ed. Brasília: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA DE PROCESSAMENTO DE DADOS DE BELO HORIZONTE. *Imagens de Satélite (Quickbird) do município de Belo Horizonte*. 2005. Resolução espacial de 5 metros. 36 imagens.

FELIPPE, Miguel Fernandes. *Espacialização e classificação dos topos como zonas preferenciais de recarga de aquíferos em Belo Horizonte-MG*. 2007. 140 f.. Monografia (Bacharelado Geografia) – Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS, Belo Horizonte, 2007.

FUNDAÇÃO JOÃO PINHEIRO. *Saneamento Básico em Belo Horizonte: Trajetória em 100 anos – os serviços de água e esgoto*. 1ª ed. Belo Horizonte: Centro de Estudos Culturais, 1997. 314 p.

GAUSSEN, H; BAGNOULS, F. Estação Seca e índice Xerotérmico. Boletim Geográfico, Ano XX, n. 169:37.369, 1962 (Tradução de Ruth Simões Bezerra dos Santos) apud ASSIS, Wellington Lopes. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva tempo-espacial*. 299 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GEOMINAS. *Limites Municipais de Belo Horizonte, Contagem e Sabará*. 1995.

HALL, M.J. *Urban Hydrology*. Essex: Elsevier, 1984 apud TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Dados Econômicos Municipais – projeção do PIB para 2007*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em: 11 nov. 2010.

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS APLICADAS - IGACENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS - CETEC (Belo Horizonte-MG). *Belo Horizonte, 1978. Mapeamento das Formas de Erosão Acelerada na Região Metropolitana de Belo Horizonte e Cabeceiras dos Rios das Velhas e Paraopeba - esc. 1:50.000*.

JONHSON, W. *Physical and economic feasibility of nonstructural flood plain management measures*. Davis: Hydrologic Engineer Center, 1978 apud TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.

KING, C.L.. *A geomorfologia do Brasil Oriental*. *Revista Brasileira de Geociências*, Nº18, f. 2, 147– 265, 1956.

LEOPOLD, L.B. *Hydrology for Urban Planning - A Guide Book on the Hydrologic Effects on Urban Land Use*. USGS circ. 554, 1968. 18p apud REBOUCAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil*. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

LUCAS, Taíza de Pinho Barroso. *Chuvvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

MACEDO, Diego Rodrigues. *Avaliação de projeto de restauração de curso d'água em área urbanizada: estudo de caso no Programa Drenurbs em Belo Horizonte*. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MACHADO, N.; NOCE, M.C.; LADEIRA, E.A./ OLIVEIRA, O.B. U/PB geochronology of Archean magmatism and Proterozoic metamorphism in the Quadrilátero Ferrífero, southern São Francisco shield, Brazil. *Geol. Soc. Am. Bull.* V. 104, p. 1221-1227, 1992.

MOREIRA, Alecir Antonio Maciel; ABREU, Magda Luzimar de; LUCIO, Paulo Sergio. *A influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte: estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local*. 189 f. Dissertação (Mestrado em Análise Ambiental) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

NIMER, Edmon. *Climatologia do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, SUPREN, 1979. 421 p apud LUCAS, Taíza de Pinho Barroso. *Chuvvas persistentes e ação da Zona de Convergência do Atlântico Sul na Região Metropolitana de Belo Horizonte*. 158 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

NOCE, C.M.; MACHADO, N.; TEIXEIRA, W. O complexo Belo Horizonte e a Evolução Arqueana do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 38, 1994, Camboriú, 1994. *Boletim de resumos expandidos...* Porto Alegre: SGB/DNPM/CPRM, 1994. V. 1, p. 68-69.

PLANEJAMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE. *Via Urbana Leste-Oeste* – Programa de Implantação, Belo Horizonte, 1976. 5 p. Relatório.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE. *Estudos Urbanos: Transformações Recentes na Estrutura Urbana*. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2008. 513 p.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELO HORIZONTE. *Lei de Uso e Ocupação do Solo: Estudos Básicos*. Belo Horizonte. 1.995. Relatório.

RAMOS, Maria Helena Domingues; *Drenagem Urbana: aspectos urbanísticos, legais e metodológicos em Belo Horizonte*. 1998. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1998.

REBOUCAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. *Águas doces no Brasil*. 3. ed. rev. e ampl. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO BÁSICO a. O caso Arrudas. *Revista Mineira de Saneamento Básico*, Belo Horizonte, Fevereiro, Ano II, nº 4, 1985. p.10-23.

REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO BÁSICO b. O Arrudas da SUDECAP. *Revista Mineira de Saneamento Básico*, Belo Horizonte, Abril, Ano II, nº 6, 1985. p. 6-23.

REVISTA MINEIRA DE SANEAMENTO BÁSICO. Arrudas, a obra do século. *Revista Mineira de Saneamento Básico*, Belo Horizonte, Dezembro, Ano I, nº 2, 1984.p.14-17.

RIBEIRO, J.P.C. *Atlas Geográfico – Minas Gerais e Belo Horizonte*, 1999.

RODRIGUES, David Márcio dos Santos. *Esboço geomorfológico da Grande Belo Horizonte*. Belo Horizonte: 1987. 17p.

SALGADO A.A.R., BRAUCHER R., COLIN F., NALINI H.A., VARAJÃO A.F.D.C, VARAJÃO C.A.C. O Papel da Denudação Geoquímica no Processo de Erosão Diferencial no Quadrilátero Ferrífero/MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, vol.1, n.5, p. 55-69, 2004.
SCHUMM, S. A.; MOSLEY, M. P. *Slopemorphology*. Stroudsburg: Benchmark papers in geology, 1973. 454p.

SCHUMN, Stanley A. *River morphology*. Stroudsburg:1972. 429p.

SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS. Pontos de Inundação 1980 a 2005. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2006. Pontos de inundação no município de Belo Horizonte. Escala 1:50.000.

SEMINÁRIO SOBRE ENCHENTES URBANAS. 1984, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Centro Tecnológico de Minas Gerais, 1984. 105 p.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. 2000.

SHUELER, T. *Controlling Urban Runoff*. Washington Metropolitan Water Resources Planning Board, 1987.210p. apud SUPERINTÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL a. *Plano diretor de drenagem de Belo Horizonte. Análise Integrada do sistema de drenagem de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Magna Engenharia Ltda, 2000, Volume I, 194 p, Relatório.

SILVA, A. B.; CARVALHO, E. T.; FANTINEL, L. M.; ROMANO, A. W.; VIANA, C. S. *Estudos geológicos, hidrogeológicos, geotécnicos e geoambientais integrados no município de Belo Horizonte*: projeto estudos técnicos para o levantamento da carta geológica do município de Belo Horizonte; relatório final. Belo Horizonte: FUNDEP/UFMG-IGC, 1995. 150 p.

SIMONS, D.B. *et al. Flood Flows, Stages and Damages*. Fort Colins: Colorado State University, 1977 apud TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.

SUGUIO, K.; BIGARELLA, J. J. *Ambiente fluvial*. 2ª Ed. Curitiba: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1979.183 p.

SUPERINTÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL a. *Plano diretor de drenagem de Belo Horizonte. Análise Integrada do sistema de drenagem de Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Magna Engenharia Ltda, 2000, Volume I, 194 p, Relatório.

SUPERINTÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL b. *Plano diretor de drenagem de Belo Horizonte. Caracterização das Bacias Elementares*. Belo Horizonte: Magna Engenharia Ltda, 2000, Volume II, 85 p, Relatório.

SUPERINTÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL c. *Plano diretor de drenagem de Belo Horizonte. Caracterização preliminar das inundações ocorridas em Belo Horizonte*. Belo Horizonte: Magna Engenharia Ltda, 2000, Volume XI, 26 p, Relatório.

THORNE, C. R; HEY, R. D; NEWSON, M. D. *Applied fluvial geomorphology for river engineering and management*. Chichester, New York: John Wiley, 1997. 376 p.

THORNTHWAITE C.W. MATHER, J.R. *The water Balance*. Publications in Climatology, New Jersey, Drexel Institute of Tecnology, 1995. 104 p. apud ASSIS, Wellington Lopes. *O sistema clima urbano do município de Belo Horizonte na perspectiva têmporo-espacial*. 299 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

TUCCI, C. E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.

TUCCI, C. E. M; HESPANHOL, I; CORDEIRO NETTO, O. M.; UNESCO. *Gestão da água no Brasil*. Brasília: UNESCO, 2001. 191 p.

TUCCI, C.E.M. Urban drainage management In: TUCCI, C.E.M. *Urban Drainage in Humid Tropics*. UNESCO/IRTCUD, 2000.V. 1, cap. 7, p. 159 – 177.

TUCCI, C.E.M; CLARK, R.T. Impacto das Mudanças da Cobertura Vegetal no Escoamento: Revisão. In: Fórum Geo-Bio-Hidrologia, 1, 1998, Curitiba. Anais... Curitiba: Universidade Federal do Paraná, p. 39-48.

TUCCI, C.E.M; VILLANUEVA, Flood control measures in União da Vitória and Porto União: structural vs. non-structural measures. *UrbanWater*, v.1, 177-182 p., 1997.

UEHARA, K. *Necessidade de estudos de novos critérios de planejamento de drenagem de várzea de regiões metropolitanas*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE HIDROLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS, 6, 1985, São Paulo. Anais. São Paulo: ABRH. v. 3, p. 111-119 apud TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 3. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 943p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS/CENTRO DE PESQUISA MANUEL TEIXEIRA DA COSTA. Projeto Correção da base cartográfica do Quadrilátero Ferrífero. Belo Horizonte: 2004. Mapa Geológico. Escala 1:25.000.

VERSTAPPEN, Herman Theodoor. *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Amstertam: Oxford Elsevier, 1983. 437p.

WARD, A. D.; TRIMBLE, S. W. *Environmental hydrology*. 2ª ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 2004. 475 p.

WOLMAN, M.G. *A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels*. Geografiska Annaler 49A, 385-395 apud CHIN. A. Urban transformation of river landscapes in a global context. *Geomorphology*. Arlington, v. 79, n.1, p. 460-467, Junho 2006. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0169555X06002637>. Acesso em: 10/10/2009.

ANEXOS

