

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Saneamento,
Meio ambiente e Recursos Hídricos

**Desenvolvimento de modelo para a gestão
de sistemas de trânsito em situações de
contingência de inundações**

Rodrigo Amaral Bonatti

Belo Horizonte, 2011

**Desenvolvimento de modelo para a gestão
de sistemas de trânsito em situações de
contingência de inundações**

Rodrigo Amaral Bonatti

Rodrigo Amaral Bonatti

Desenvolvimento de modelo para a gestão de sistemas de trânsito em situações de contingência de inundações

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Hidrologia Urbana e Drenagem

Orientador: Prof. Dr. Nilo de Oliveira Nascimento

Co-orientador(a): Prof(a). Dra. Leise Kelli de Oliveira

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2011

Página com as assinaturas dos membros da banca examinadora, fornecida pelo Colegiado do Programa

À minha futura esposa, Carol.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela oportunidade de trabalhar a favor da comunidade. Por me dar a força, a coragem e a serenidade necessárias para a conclusão deste trabalho. Por fortalecer minha esperança em dias melhores.

Aos meus pais que, desde o dia em que nasci, vêm me ensinando o significado do amor. E aos meus irmãos, meus melhores amigos, pela companhia diária, conselhos e abraços.

À Carolina, por iluminar minha vida, por todo seu amor, por todas suas risadas. Por sempre me lembrar o significado da bondade e por me ensinar a ter esperança em mim mesmo.

À minha família e aos meus amigos, flores que Deus semeou em meu caminho.

Aos meus professores, pelos valiosos ensinamentos. À professora Leise, por me mostrar que sempre poderei fazer mais e melhor. Ao professor Nilo, meu grande amigo nessa caminhada, por nunca ter hesitado em apontar meus erros e por sempre me mostrar os caminhos para corrigi-los.

Agradeço a todos aqueles que, de alguma maneira, fizeram parte deste trabalho. Há aqui uma parte de cada um de vocês. Obrigado!

RESUMO

Os fenômenos naturais de origem meteorológica e geológica são a causa freqüente de desastres naturais. No Brasil, os eventos geológicos de maior importância são os relacionados a deslizamentos de encostas e são ligados diretamente aos fenômenos de origem meteorológica. Já os eventos meteorológicos, principalmente os ligados às chuvas, tem impactos fortes sobre as regiões de todo o país.

Devido à topografia sinuosa, à alta taxa de impermeabilização do solo e às chuvas intensas, os canais dos córregos da cidade muitas vezes não comportam a ascensão rápida do volume de água transportado, vindo a transbordar, alagando suas respectivas planícies de inundação, geralmente ocupadas pelo homem. Esta pesquisa trata-se de um trabalho focado nas inundações constantes que ocorrem em Belo Horizonte, na Região de Venda Nova, onde se localiza a Bacia do Vilarinho.

Quando ocorrem inundações, o trânsito no local e nas suas proximidades é atingido diretamente. Além de distúrbios no tráfego propriamente dito, como grandes congestionamentos, por exemplo, muitos veículos são atingidos pela água que toma as vias rapidamente. Por outro lado, as vias são comprometidas pelas inundações e as reformas podem significar desvios precários que podem perdurar por meses após a ocorrência de uma inundação.

Em face dos transtornos e prejuízos causados por inundações, esta pesquisa propõe um modelo de tráfego capaz de mensurar as variações no trânsito em situações normais, durante a inundação e após a inundação.

Quanto às medidas de mitigação dos impactos de uma inundação ao trânsito, é proposta uma adequação dos planos de contingência para tratar especificamente este assunto. São estudadas as medidas de prevenção, sistemas de alerta, como o uso de Painéis de Mensagens Variáveis, e medidas de emergência, durante e após as inundações, para o trânsito.

ABSTRACT

Natural phenomena of meteorological and geological origin are common causes of natural disasters. In Brazil, the most important geological events are the ones related to landslides and are directly associated to phenomena with meteorological origin. On the other hand, the meteorological events, especially those related to rainfall, have strong impacts all over the country.

Due to its sinuous topography, high rate of soil sealing and intense rainfalls, the city's stream channels are often not capable of putting up with the rapid rise of transported water volume, resulting in overflow and, therefore, in the flood of its respective floodplain areas, usually inhabited by men. This research comes from a study focused on the constant floods that occur in Belo Horizonte, at Venda Nova's region, where is the Vilarinho's basin.

When floods occur, local and nearby traffic is directly affected. In addition to transit disorder itself, as massive traffic jams, for an example, many vehicles are reached by the water that quickly takes over the routes. Moreover, the pathways get severely damaged by the flooding and reconstructions may mean precarious palliative solutions that might last months after a flood occurrence.

Considering all the nuisance, troubles and injuries caused by flooding, this research proposes a transit model capable of measuring the traffic time variation in diverse situations: normal circumstances, during flooding, and after flooding.

As measures to mitigate the flooding impacts to traffic, an adequacy of contingency plans will be proposed to deal specifically with this subject. Prevention measures will be studied, alert systems, as the use of Variable Messages Panel, and emergency measures, during and after flood, for the traffic.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	v
Lista de Quadros	vii
Lista de Tabelas	viii
Lista de siglas e símbolos	x
1 Introdução	1
2 Objetivos	4
2.1 Objetivo geral	4
2.2 Objetivos específicos	4
3 Revisão bibliográfica	5
3.1 Inundações	5
3.1.1 Terminologia	5
3.1.2 Inundações no Brasil	5
Tipos de inundação	9
3.1.3 Causas das inundações	10
3.1.3.1 Chuvas que provocam inundações	10
3.1.3.2 Urbanização	12
3.2 Conseqüências das inundações	16
3.3 Mapeamento de inundações	18
3.3.1 Modelos matemáticos aplicados ao mapeamento de inundações	20
3.4 Medidas de controle e mitigação de danos provocados por inundações	24
3.4.1 Medidas estruturais	24
3.4.2 Medidas não-estruturais	26
3.5 Tráfego	27
3.5.1 Inundações e tráfego	27
3.5.2 Gerenciamento do tráfego	31
3.6 Planejamento de contingência de inundações	33
3.6.1 Sistemas de alerta	34
3.6.2 Resposta de emergência	38
4 Área de estudo	41
5 Metodologia	45
5.1 Modelagem hidráulica e hidrológica	47
5.1.1 Eventos sintéticos de precipitação	50
5.1.2 Séries históricas de precipitação	53
5.1.3 Dados morfológicos e cadastrais para a modelagem	55
5.2 Modelagem de tráfego	62
5.2.1 Simulação do tráfego da Região de Venda Nova	67
5.2.2 Impactos econômicos de uma inundação ao trânsito	69
5.3 Georreferenciamento	71
6 Resultados	76
6.1 Inundações na Bacia do Vilarinho	76
6.2 As Manchas de inundação na Bacia do Vilarinho	88
6.3 Impactos no trânsito	90

6.3.1	O trânsito na Região de Venda Nova	91
6.3.2	Impactos das inundações no trânsito	95
6.4	Plano de contingência de inundações para o trânsito	105
6.4.1	Prevenção de inundações ao trânsito	105
6.4.2	Sistema de alerta	108
6.4.3	Emergência	109
7	Conclusões e recomendações	111
8	Referências Bibliográficas	115
9	Anexos	9.1
	Anexo I – Isoietas de precipitações totais anuais médias para RMBH	9.1
	Anexo II – Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$, utilizados para obtenção das curvas IDF	9.2
	Anexo III – Precipitação de Projeto – eventos sintéticos	9.3
	Anexo IV – Chuvas históricas – Estação Usina de Gás (01944065)	9.9
	Anexo V – Características das sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho	9.19
	Anexo VI – Comportamento do trânsito no cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere – Dados corrigidos em relação ao crescimento da frota veicular de Belo Horizonte	9.21
	Anexo VII – Manchas de inundação para chuvas de projeto para a Bacia do Córrego Vilarinho	9.27

Lista de Figuras

Figura 3.1 - Distribuição de municípios afetados por inundações, por Unidade da Federação (IBGE, 2000)	7
Figura 3.2 - Ribeirão Arrudas, 31 de dezembro de 2008 (Fonte: Fundação Educacional e Cultural Metropolitana – FECM-BH)	10
Figura 3.3 - Inundação da Avenida Prudente de Moraes (Belo Horizonte), 07 de Outubro de 2009 (Fonte: Alisson Nogueira Braz).....	12
Figura 3.4 - População urbana versus população rural no Brasil (Fonte: IBGE, censos de 1940 a 2000)	13
Figura 3.5 - Hidrogramas hipotéticos de áreas urbanizadas e não urbanizadas (Tucci e Bertoni, 2003).....	14
Figura 3.6 - Tendências da ocupação e o impacto no rio (Tucci e Bertoni, 2003).....	15
Figura 3.7 - Efeitos da urbanização nas etapas do ciclo hidrológico (Fonte: EPA <i>apud</i> Castro, 1999).....	16
Figura 3.8 - Inundação da Av. Prudente de Moraes, 07 de Outubro de 2009: danos causados à Rua Guaicuí (Fonte: Arthur Furtado)	28
Figura 3.9 - Carros arrastados durante a inundação do Ribeirão Arrudas - 31 de dezembro de 2008 (fonte: Fundação Educacional e Cultural Metropolitana – FECM-BH).....	29
Figura 3.10 - Carro jogado contra o muro - Inundação na Avenida Prudente de Moraes, 07 de outubro de 2009	29
Figura 4.1 - Regiões Administrativas de Belo Horizonte (PBH, 2010)	42
Figura 4.2 - Manchas de inundação na Região de Venda Nova, para chuvas de 25 anos de tempo de retorno (PBH, 2010)	43
Figura 5.1 – Desenvolvimento do modelo de gestão de trânsito, perante inundações	46
Figura 5.2 – Detalhamento da modelagem de tráfego	47
Figura 5.3 - Manchas de inundação – Córrego Bezerra e Córrego Brejo do Quaresma (Cartas de Inundação de Belo Horizonte – Prefeitura de Belo Horizonte – PBH – 2010)	49
Figura 5.4 - Manchas de inundação – Córrego Vilarinho (Cartas de Inundação de Belo Horizonte – Prefeitura de Belo Horizonte – PBH – 2010).....	50
Figura 5.5 - Sub-bacias componentes da Bacia do Vilarinho (Adaptado de PBH, 2008).....	55
Figura 5.6 - Divisão das sub-bacias no Modelo SWMM	57
Figura 5.7 - Perfil de seção natural obtido por análise de imagem - Córrego Navegantes (Adaptado de PBH, 2010 A)	58
Figura 5.8 - Seção de trecho canalizado - Córrego Vilarinho (PBH, 2010 B).....	59
Figura 5.9 – Registro histórico de inundações na Região de Venda Nova, entre os anos de 1980 e 2000 (PBH, 2010 A)	62
Figura 5.10 - Variação da frota de veículos de Belo Horizonte (Adaptado de DENATRAN, 2010).....	65
Figura 5.11 - Gráfico da variação do fluxo de veículos durante o dia	66
Figura 5.12 - Cruzamentos interditados – simulação do modelo de trânsito da Região de Venda Nova, obtida através do programa AIMSUN.....	69
Figura 5.13 – Trecho da Região de Venda Nova - imagem de satélite (<i>Google Earth</i>).....	73
Figura 5.14 - Mapa com topografia, hidrografia e vias de trânsito	74
Figura 5.15 - Detalhes topográficos da Bacia do Vilarinho	75
Figura 6.1 - Gráfico da precipitação acumulada (mm) para um hietograma de projeto com duração de 90 minutos e Tempo de Retorno de 25 anos	77
Figura 6.2 - Gráfico da precipitação acumulada (mm) para um hietograma de projeto com duração de 5 horas e Tempo de Retorno de 25 anos	77

Figura 6.3 - Hietograma da chuva sintética de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração.....	79
Figura 6.4 – Cotograma do Córrego Vilarinho, próximo à Rua Maçon Ribeiro – chuva sintética de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração	79
Figura 6.5 - Velocidade de escoamento no Córrego Vilarinho, durante um evento de inundação.....	80
Figura 6.6 - Inundação de 13 de Janeiro de 1994 - Córrego Vilarinho	86
Figura 6.7 - Mancha de inundação provocada por uma chuva de projeto de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração.....	89
Figura 6.8 - Vias modeladas - Região de Venda Nova	91
Figura 6.9 - Emissões de CO ₂ em um cenário normal (sem inundação).....	92
Figura 6.10 - Variação da velocidade média do fluxo de veículos na Região de Venda Nova - Cenário normal	94
Figura 6.11 - Bloqueios no trânsito gerados por inundação - Avenida Vilarinho, próximo à Avenida Álvaro Camargos	96
Figura 6.12 - Bloqueios no trânsito gerados por inundação - Avenida Vilarinho, próximo à Avenida Liege.....	97
Figura 6.13 - Média do consumo total de combustível - cenário com inundação de 25 anos de tempo de retorno, sem intervenção humana	98
Figura 6.14 - Emissão média de CO ₂ - cenário com inundação de 25 anos de tempo de retorno, sem intervenção humana	98
Figura 6.15 - Impactos de inundações sobre a média de velocidade na Região de Venda Nova	101
Figura 6.16 - Variação do consumo de combustível - eventos de inundações com e sem intervenção ao trânsito.....	102
Figura 6.17 - Avenida Vilarinho - trânsito desviado com 10 minutos de antecedência à inundação.....	103
Figura 6.18 - Sinalização de áreas de risco, com indicação de rotas de fuga e telefones das equipes de emergência - Avenida Tereza Cristina, Belo Horizonte (Nascimento, 2011).....	106
Figura 6.19 - Painel de Mensagem Variável (PMV).....	109
Figura 10.1 - Mapa Isoietal da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH (Pinheiro e Naghettini, 1998).....	9.1
Figura 10.2 - Sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho (COBRAPE, 2008).....	9.19
Figura 10.3 - Correção temporal do fluxo de veículos a partir de dados de crescimento da frota, fornecido pela FENABRAVE.....	9.21
Figura 10.4 - Movimentos possíveis no cruzamento da Avenida Vilarinho com Rua Marechal Falconiere	9.22
Figura 10.5 - Mancha de inundação para uma chuva de 50 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração.....	9.28
Figura 10.6 - Mancha de inundação para uma chuva de 100 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração.....	9.29
Figura 10.7 - Mancha de inundação para uma chuva de 25 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração.....	9.30
Figura 10.8 - Mancha de inundação para uma chuva de 50 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração.....	9.31
Figura 10.9 - Mancha de inundação para uma chuva de 100 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração	9.32

Lista de Quadros

Quadro 3.1 - Exemplo de danos causados por inundações a diversos setores da sociedade (adaptado de Cançado, 2009)	18
Quadro 3.2 - Evolução dos métodos de análise de inundações (adaptado de Rossi, 1994)	21
Quadro 3.3 – Modelo de estágios de alerta para desastres naturais (Adaptado de Alexander, 2002).....	36

Lista de Tabelas

Tabela 3.1- Percentual de municípios que sofreram inundações e/ou alagamentos por fator agravante, por Região em 2008 (Adaptado de PNSB, 2008).....	8
Tabela 3.2 - Vítimas de inundação no Brasil em 2008 (BRASIL, 2009).....	9
Tabela 5.1- Cálculo de distribuição temporal de precipitação de 90 minutos de duração	52
Tabela 5.2 - Chuvas históricas de 1994 - Estação de medição Usina de Gás	54
Tabela 5.3 - Divisão da Bacia do Vilarinho em pequenas sub-bacias (Adaptado de PBH, 2008)	56
Tabela 5.4 - Eventos históricos de inundação nas bacias elementares da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Bacia do Vilarinho: 4140100 (PBH, 2010 B).....	61
Tabela 5.5 - Contagem volumétrica de veículos - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere (Adaptado de BHTrans, 2000).....	64
Tabela 5.6 - Percentual de crescimento da frota de veículos de Belo Horizonte (Adaptado de DENATRAN, 2010).....	67
Tabela 6.1 - Profundidade e duração de uma chuva de projeto de 90 minutos de duração e 25 anos de Tempo de Retorno - Avenida Vilarinho, próximo à Rua Maçon Ribeiro.....	80
Tabela 6.2 - Resultados da modelagem hidráulica e hidrológica para chuvas de projeto.....	83
Tabela 6.3 - Precipitação acumulada - janeiro de 1994.....	85
Tabela 6.4 - Vazão e profundidade do Córrego Vilarinho após início da chuva	87
Tabela 6.5 - Resultados da modelagem das chuvas históricas - Inundações na Bacia do Vilarinho - 1994	88
Tabela 6.6 - Emissões de CO2 para um dia de trânsito normal na rede modelada	93
Tabela 6.7 - Tempo médio de paradas e de viagem para a Região de Venda Nova em um dia de trânsito normal	94
Tabela 6.8 - Variação percentual do fluxo de veículos na Região de Venda Nova	99
Tabela 6.9 - Variação percentual do consumo médio de combustível na Região de Venda Nova	100
Tabela 6.10 - Variação da emissão de gases e consumo de combustível para cenários de inundação distintos	104
Tabela 6.11 - Variação dos custos relacionados ao trânsito em cenários de inundação distintos	104
Tabela 10.1 - Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$ correspondentes a probabilidades anuais de Gumbel para a RMBH (Pinheiro e Naghettini, 1998).....	9.2
Tabela 10.2 - Chuvas de projeto de 30 minutos de duração.....	9.3
Tabela 10.3 - Chuvas de projeto de 60 minutos de duração.....	9.3
Tabela 10.4 - Chuvas de projeto de 90 minutos de duração.....	9.4
Tabela 10.5 - Chuvas de projeto de 2 horas de duração.....	9.5
Tabela 10.6 - Chuvas de projeto de 3 horas de duração.....	9.6
Tabela 10.7 - Chuvas de projeto de 5 horas de duração.....	9.7
Tabela 10.8 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Janeiro, 1994	9.10
Tabela 10.9 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Fevereiro, 1994.....	9.11
Tabela 10.10 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Março, 1994	9.12
Tabela 10.11 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Abril, 1994	9.13
Tabela 10.12 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Maio, 1994	9.14

Tabela 10.13 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Junho, 1994	9.15
Tabela 10.14 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Outubro, 1994	9.16
Tabela 10.15 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Novembro, 1994	9.17
Tabela 10.16 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Dezembro, 1994	9.18
Tabela 10.17 - Características das sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho (COBRAPE, 2008)	9.20
Tabela 10.18 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do bairro, pela Rua Marechal Falconiere.....	9.23
Tabela 10.19 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do centro, pela Avenida Cristiano Machado.....	9.24
Tabela 10.20 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do bairro, pela Rua Marechal Falconiere.....	9.25
Tabela 10.21 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente da Avenida Vilarinho, sentido centro	9.26

Lista de siglas e símbolos

AIMSUN	Modelo computacional de trânsito, desenvolvido pela TSS
ANA	Agência Nacional de Águas
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
BHTrans	Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte
COBRAPE	Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DTM	Digital Terrain Model
FECM-BH	Fundação Educacional e Cultural Metropolitana de Belo Horizonte
FENABRAVE	Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores
GIS	Geographic Information System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade, duração e frequência
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
PBH	Prefeitura de Belo Horizonte
PMV	Painéis de Mensagem Variável
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
PNUD	Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PRODABEL	Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte
RMBH	Região Metropolitana de Belo Horizonte
SUDECAP	Superintendência de Desenvolvimento da Capital
SWITCH	Sustainable Water Management Improves Tomorrow Cities' Health

SWMM	Storm Water Management Model
TDM	Traffic Demand Management
TSS	Transport Simulation Systems
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
US-EPA	United States Environmental Protection Agency

1 Introdução

No passado, o surgimento de muitas cidades deu-se nas proximidades de rios de médio e grande porte, para beneficiar-se das facilidades de abastecimento de água, transporte fluvial, defesa, entre outros. A parcela do leito maior ocupada pela população muitas vezes dependeu da memória dos habitantes quanto aos períodos de chuva e o nível de água do rio nestes períodos, assim como a frequência com que ocorriam inundações e os locais atingidos. A urbanização tem a tendência de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Com o crescimento das cidades, a impermeabilização de áreas a montante dos cursos d'água geralmente faz com que a frequência de inundações aumente nas áreas localizadas a jusante.

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2000), tem-se intensificado e tornado mais freqüente a cada ano a ocorrência de inundações em áreas suscetíveis no Brasil, sejam elas urbanas ou rurais, ribeirinhas ou não. Este agravamento ocorre em função tanto da crescente impermeabilização do solo, decorrente da urbanização acelerada, como da ocupação urbana indevida de áreas ribeirinhas, que constituem os leitos naturais dos cursos de água.

Segundo Yevjevich (1994) o estudo de inundações em uma dada região envolve, em sua essência, três campos de pesquisa bem definidos:

- Características físicas, hidrológicas e hidráulicas;
- Avaliação de impactos ambientais, sociais e econômicos;
- Formulação de ações e de políticas públicas, onde o gerenciamento dos recursos hídricos e a gestão e planejamento urbanos trabalhem em conjunto no sentido de minimizar os efeitos de uma inundação.

As condições meteorológicas, hidráulicas e hidrológicas propiciam a ocorrência de inundação. O conhecimento do comportamento meteorológico de antecedência superior a 5 dias não possui boa confiabilidade. Envolve grande número de fatores entre os fenômenos meteorológicos e à interdependência dos processos físicos a que a atmosfera terrestre está sujeita. Para o estudo de inundações de uma dada região, além do comportamento meteorológico, as características da bacia hidrográfica e as características hidráulicas dos canais são de fundamental importância. As condições naturais e artificiais da bacia podem ser

as responsáveis por eventos de inundação. As condições naturais são aquelas cuja ocorrência é propiciada pela bacia em seu estado natural, como relevo, tipo de precipitação, cobertura vegetal e capacidade de infiltração e drenagem. As condições artificiais da bacia são provocadas pela ação do homem, como obras hidráulicas e urbanização (TUCCI e BERTONI, 2003).

A ocorrência de inundações pode causar impactos no meio ambiente, na sociedade e na economia das regiões atingidas. O interesse da sociedade nos impactos das inundações refere-se basicamente às perdas e danos causados, propriamente ditos. Os danos estão ligados a vários fatores, como a profundidade das inundações, ou seja, a profundidade de submersão das áreas inundadas, a velocidade do escoamento e a duração da inundação. As inundações podem afetar significativamente a infra-estrutura de uma cidade, causando perturbações no setor financeiro, nos sistemas de energia elétrica, na produção e distribuição de gás e derivados do petróleo, nos serviços de transporte urbano, de emergência e de comunicação e nos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, para citar apenas os de maior importância.

O controle da inundação é obtido por um conjunto de medidas estruturais e não-estruturais, permitindo minimizar as perdas e criar uma convivência harmônica com o rio. As ações incluem medidas de engenharia e de cunho social, econômico e administrativo. A pesquisa para a combinação ótima dessas ações constitui o planejamento da proteção contra a inundação ou seus efeitos. As medidas estruturais são aquelas que modificam o sistema fluvial com o objetivo de minimizar os prejuízos decorrentes de inundações, enquanto que as medidas não-estruturais são aquelas em que os prejuízos são reduzidos melhorando-se a convivência da população com o rio e suas particularidades.

Nos dias atuais, a utilização de medidas não-estruturais, como alerta de inundações, tem aumentado, principalmente nos grandes centros urbanos. Tais medidas, de caráter essencialmente preventivo, implicam a necessidade de uma articulação crescente com os sistemas de gestão urbana. Como exemplo de tais medidas, pode-se citar o desenvolvimento de planos de contingência de inundações. O planejamento de contingência de inundações pode trabalhar conjuntamente planos emergenciais e sistemas de alerta, minimizando os impactos causados, principalmente aqueles referentes a perdas de vidas.

Este trabalho faz um estudo sobre os impactos das inundações ao trânsito das regiões atingidas e de medidas de mitigação destes impactos. O sistema viário e o trânsito local, se afetados,

levam à propagação de efeitos localizados de um evento de inundação para outras áreas, aumentando a sua dimensão. Ante a ocorrência de uma inundação, não apenas as vias diretamente atingidas pelas águas sofrem perturbação, mas também as possíveis vias de desvio, onde o trânsito pode se congestionar. Juntamente com este estudo, são discutidos o planejamento de contingência de inundações para o trânsito da região e sistemas de alerta para situações de risco.

Esta pesquisa realiza-se no contexto do projeto SWITCH (*Sustainable Water Management Improves Tomorrow Cities' Health*). Os principais parceiros do projeto SWITCH em Belo Horizonte são a PBH (Prefeitura de Belo Horizonte) e a UFMG (Universidade Federal de Minas Gerais). Este projeto resulta de uma parceria de pesquisa entre a Comunidade Européia e países em desenvolvimento, entre eles, o Brasil. O orçamento do projeto é superior a 20 milhões de euros e envolve atividades de pesquisa em 12 cidades de países distintos. As pesquisas têm foco em gestão sustentável das águas urbanas. Em Belo Horizonte, o SWITCH iniciou seus trabalhos no segundo semestre de 2006 e tem como seu principal objetivo impulsionar os processos de mudança e modernização sustentável de drenagem urbana e de democratização da governança da água.

A estrutura deste texto tem, como ponto inicial, a apresentação dos objetivos da pesquisa, passando à revisão de literatura de onde se obteve a base teórica deste trabalho. Posteriormente, são descritos os métodos utilizados no desenvolvimento do trabalho, em particular os métodos de modelagem hidráulica, hidrológica e de tráfego, além de estudos focados em planos emergenciais e sistemas de alerta quando tratado o problema de inundações urbanas. Por fim, são apresentados os resultados obtidos através dos modelos e as discussões relacionadas aos impactos no trânsito, causados por inundações. Os sistemas de alerta existentes são avaliados para que então sejam apresentados projetos de melhoria futuros.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Definir um plano de contingência de inundações para o trânsito, onde são consideradas alterações temporárias da malha viária sob o risco de inundação iminente, que contenha um estudo sobre ações emergenciais e sistemas de alerta. Avaliar o alcance de uma dada inundação e seu impacto no trânsito, através de modelos hidrológicos, hidráulicos e de tráfego para posteriormente simular alterações no tráfego como ação de contingência. Avaliar a viabilidade da implementação de um sistema de alerta de inundações que minimize a perturbação no trânsito provocada por uma dada inundação.

2.2 Objetivos específicos

- Definir manchas de inundação para chuvas com diferentes tempos de retorno, através de modelos hidráulicos e hidrológicos. Simular diferentes cenários baseados na série temporal de precipitações de estações pluviométricas localizadas próximas à área de estudo e em registros de inundações passadas;
- Avaliar os impactos no trânsito para diferentes manchas de inundação, anteriormente estimadas. Analisar o acréscimo no tempo de viagem e no consumo de combustível, como também a extensão do congestionamento formado na região e seu tempo de dissipação após um evento de inundação;
- Utilização de modelo de tráfego para simular o bloqueio de vias, desviar o tráfego em regiões com possibilidade de alagamento e mensurar os gastos provenientes das mudanças no trânsito, provocadas por inundações.

3 Revisão bibliográfica

Este capítulo refere-se aos estudos atuais sobre inundações em grandes centros urbanos mundiais, às pesquisas semelhantes feitas no Brasil, como também estudos científicos sobre o trânsito de veículos e o impacto das inundações sobre este.

3.1 Inundações

3.1.1 Terminologia

O extravasamento da calha principal de um curso d'água é um fenômeno natural. Este extravasamento pode ocorrer em áreas ocupadas pelo homem, causando diversos danos.

A terminologia usualmente utilizada para caracterizar este fenômeno é bastante variada. Termos como inundação, cheia, enchente e alagamento são empregados como sinônimos, algumas vezes erroneamente. Goerl e Kobiyama (2005) definem de forma precisa a diferença entre eles:

- Enchente: a água escoar no leito do rio, com a máxima capacidade de escoamento da calha principal, ou próxima à máxima, sem que ocorra, necessariamente, o extravasamento. Para enchente, o sinônimo correto seria cheia;
- Inundação: há o extravasamento da água para áreas marginais, também chamadas de várzeas, planícies de inundação ou leito maior do rio. Algumas vezes, a inundação pode vir a atingir áreas além das citadas;
- Alagamento: acúmulo de água pluvial na superfície, devido a problemas de drenagem, como mau dimensionamento das estruturas ou mau funcionamento das mesmas, causado, por exemplo, pelo acúmulo de lixo.

3.1.2 Inundações no Brasil

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2002), no Brasil, os desastres naturais de maior ocorrência são inundação, deslizamentos de encostas, secas e erosão. Entre 2000 e 2002, 2.263 municípios brasileiros (41% do total) declararam ter sofrido algum tipo de alteração ambiental que afetou as condições de vida da população. Dentre eles, 16% tiveram deslizamento de encosta e 19% sofreram inundações.

Dos municípios com ocorrências de deslizamento de encostas, quase a metade (49%) fica no Sudeste, com Nordeste (23%), Sul (13%), Norte (9%) e Centro-Oeste (6%) a seguir. Quando a causa é a inundação, predomina, novamente, o Sudeste (48%), seguido pelo Sul (23%), Nordeste (16%), Norte (8%) e Centro-Oeste (5%). (IBGE, 2002)

O IBGE ainda informa que entre os 366 municípios que declararam ter sofrido alteração ambiental devido ao deslizamento de encostas, só 30% (ou 110 municípios) praticaram alguma ação voltada à contenção de encostas. Entre os 431 municípios que sofreram inundações, 169 municípios tomaram medidas de recomposição da vegetação nativa, aproximadamente 205 municípios declararam ter ações de controle do uso e limites à ocupação do solo e 275 municípios declararam ter ações de controle, monitoramento ou licenciamento da ocupação urbana. A Figura 3.1 detalha a distribuição de municípios afetados por inundações, por número de municípios e por percentual em relação ao número total de municípios por Estado da Federação, entre os anos de 1998 e 2000.

A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico de 2008, PNSB, realizada pelo Governo Federal, por meio do Ministério das Cidades e do IBGE verificou que 1933 municípios brasileiros (34,4% do total) possuem áreas urbanas em situação de risco, seja por se localizarem próximo a encostas ou em planícies de inundação. Destes, 56,8% informaram que áreas sujeitas à inundação são as mais comuns, suscetíveis a riscos no perímetro urbano.

Dos municípios que informaram ter manejo de águas pluviais, 48,7% declararam não ter tido problemas com inundações nos últimos cinco anos, nem pontos de estrangulamento no sistema de drenagem. Já 27,4% informaram condição oposta. Deles, 60,7% disseram haver ocupação urbana em áreas inundáveis naturalmente por cursos d'água e 48,1 % informaram que havia áreas urbanas irregulares em planícies de inundação. A ocupação irregular é o principal fator agravante de inundações e alagamentos nas regiões Norte e Nordeste. Nas regiões Sul e Sudeste, a obstrução de cursos d'água é a principal causa das inundações, segundo PSNB (2008). É importante citar que a PNSB baseia-se em declarações de entrevistados através de questionários, em cada município.

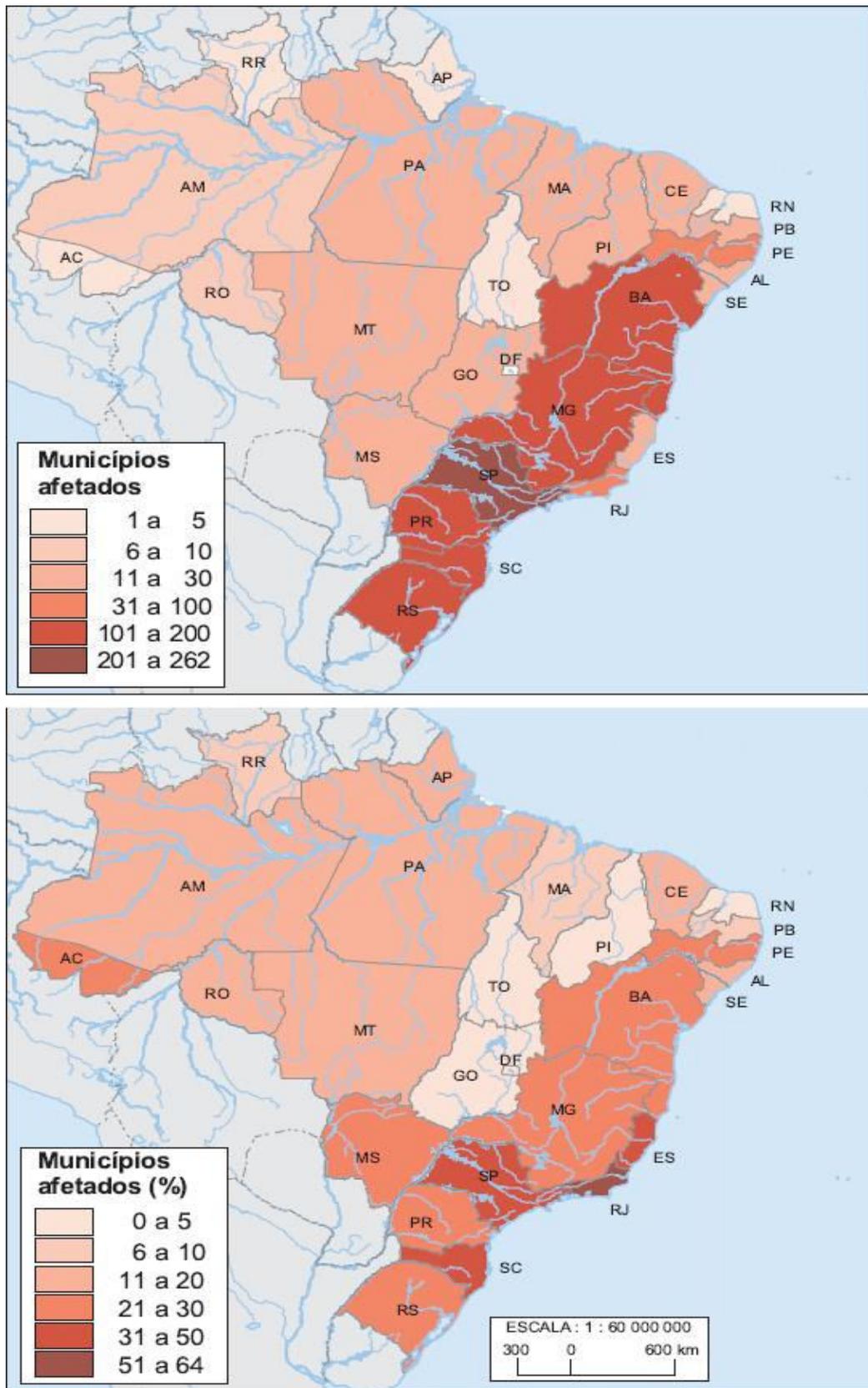


Figura 3.1 - Distribuição de municípios afetados por inundações, por Unidade da Federação (IBGE, 2000)

A Tabela 3.1- Percentual de municípios que sofreram inundações e/ou alagamentos por fator agravante, por Região em 2008 (Adaptado de PNSB, 2008) mostra o percentual de municípios que sofreram inundações e alagamentos por fatores agravantes, por Região. No Brasil, 45,1% dos municípios sofreram inundações por obstrução do sistema de drenagem e 43% dos municípios tiveram inundações provocadas pelo crescimento da urbanização, assim como o crescimento das ocupações irregulares.

Tabela 3.1- Percentual de municípios que sofreram inundações e/ou alagamentos por fator agravante, por Região em 2008 (Adaptado de PNSB, 2008)

	Norte	Nordeste	Sudeste	Sul	Centro-oeste	Brasil
Dimensionamento inadequado de projeto	26,7	22,4	34,2	37,2	28,9	30,7
Obstrução de bueiros, bocas de lobo, canais, etc.	37,3	34,5	50,3	54,5	35,5	45,1
Obras inadequadas	30,0	31,4	33,4	30,5	28,9	31,7
Urbanização	50,0	45,8	45,4	35,6	35,5	43,1
Lençol freático alto	16,7	17,4	14,8	14,8	17,4	18,6
Desmatamento	22,7	17,9	19,8	16,5	20,7	21,3
Lançamento inadequado de resíduos sólidos	32,7	30,3	39,6	26,4	29,8	30,7
Outro	26,0	22,4	19,8	16,9	23,1	19,3

A Tabela 3.2 mostra o número de ocorrências de inundações, assim como o número de vítimas de inundações, por Estado. No ano de 2008, as inundações fizeram mais de um milhão de vítimas, segundo dados da Secretaria Nacional de Defesa Civil (BRASIL, 2009).

Tabela 3.2 - Vítimas de inundação no Brasil em 2008 (BRASIL, 2009)

Região	Estado	Total de desastres	Total de inundações	Número de vítimas de inundação
Norte	Acre	3	3	13.826
	Amapá	4	2	7.500
	Amazonas	16	8	48.806
	Pará	32	25	175.327
	Rondônia	4	3	2.014
	Roraima	0	0	0
	Tocantins	8	0	0
Nordeste	Alagoas	7	4	2.130
	Bahia	13	3	6.417
	Ceará	46	29	106.206
	Maranhão	73	70	176.106
	Paraíba	3	3	12.139
	Pernambuco	4	2	800
	Piauí	21	19	112.042
	Rio Grande do Norte	94	38	234.736
	Sergipe	5	2	2.060
Centro-oeste	Distrito Federal	3	2	900
	Goiás	3	2	84.029
	Mato Grosso	27	12	80.338
	Mato Grosso Sul	10	5	29.230
Sudeste	Espírito Santo	37	21	78.778
	Minas Gerais	67	32	94.990
	Rio de Janeiro	64	39	287.667
	São Paulo	16	2	1.450
Sul	Paraná	31	0	0
	Rio Grande do Sul	146	25	37.134
	Santa Catarina	94	51	94.071
Total de vítimas de inundações:				1.688.696

Tipos de inundação

Inundação é o extravasamento da água dos leitos dos rios, ou dos limites naturais de reservatórios, para áreas adjacentes. Uma grande vazão de água pode causar a transposição destas, do leito para as planícies ribeirinhas, e, desta forma, provocar inundações. Yevjevich (1994) define como sendo três os principais tipos de inundação:

- Inundações naturais: toda inundação que ocorre indiferentemente da ocupação humana. Áreas passíveis de inundação serão inundadas naturalmente, sem que o homem tenha contribuído para isso;
- Inundações naturais modificadas: semelhante à primeira, estas inundações, porém, são afetadas pela ação do homem no ambiente, como, por exemplo, a impermeabilização do solo e a canalização de cursos d'água urbanos. Estas ações resultam em atenuações ou ampliações de enchentes naturais. Normalmente, este é o tipo de inundação mais comum nos centros urbanos, devido ao grande número de intervenções nas características naturais das bacias urbanas. Este tipo de inundação é ilustrado na Figura 3.2, que representa um trecho do Ribeirão Arrudas, em Belo Horizonte;
- Desastres totalmente gerados pelos homens: incluem o grupo de inundações causado pela falência de estruturas construídas pela sociedade, como rompimento de barragens.



Figura 3.2 - Ribeirão Arrudas, 31 de dezembro de 2008 (Fonte: Fundação Educacional e Cultural Metropolitana – FECM-BH)

3.1.3 Causas das inundações

3.1.3.1 Chuvas que provocam inundações

As inundações naturais ou naturais modificadas têm normalmente como causa, em regiões equatoriais e tropicais, as chuvas. As chuvas ocorrem de maneira distinta, com intensidade, duração e localização espacial distintas. Esta particularidade é refletida nas características da inundação.

As chuvas apresentam variação quanto às suas características, destacando-se as variações de volume, de distribuição temporal (regimes sazonais ou diários), de distribuição espacial (a área atingida diretamente pela chuva) e de intensidade (relação entre volume e duração). São essas variáveis, associadas aos fatores temperatura e correntes de ar, que permitem a definição dos tipos de precipitação, que podem ser convectiva, orográfica e frontal (DELGADO, 2000).

Os dois primeiros tipos - convectivo e orográfico - se referem a precipitações de abrangência localizada, enquanto as precipitações frontais são de abrangência regional. As convectivas resultam do aquecimento de camadas de ar úmido, nas proximidades do solo, devido às diferenças de temperatura em relação às porções mais altas da baixa atmosfera, ocasionando um movimento brusco de ascensão do ar menos denso, com conseqüentes processos de condensação e formação de nuvens e, muitas vezes, precipitação. Ocorrem, principalmente, em regiões temperadas, durante o verão, sob a forma de tempestades violentas. São chuvas de grande intensidade e pequena duração, podendo ocasionar inundações em pequenas bacias. Massas de ar quente provenientes do oceano, ao se depararem com obstáculos montanhosos, sofrem processos de ascensão e resfriamento, com formação de nuvens, dando origem às precipitações do tipo orográficas. Estas são de menor intensidade e maior duração, quando comparadas às chuvas convectivas.

O tipo frontal de precipitação decorre da convergência entre grandes massas polares e massas de ar quente e úmido. Esses choques ocasionam, no verão, chuvas intensas e de menor duração, e, no inverno, chuvas mais longas e de menor intensidade. As inundações associadas a este tipo de precipitação ocorrem em grandes bacias hidrográficas.

Segundo Delgado (2000), os mecanismos convectivo e orográfico podem sobrepor-se aos efeitos das precipitações frontais, e a eles se devem as principais variações quantitativas das chuvas que ocorrem num determinado local.

Chuvas intensas e localizadas, como as de origem convectiva, geralmente causam um escoamento rápido, principalmente quando ocorrem em áreas com alta taxa de impermeabilização e em terrenos de alta declividade. Podem bloquear bueiros e tubulações ao carregar lixo durante o escoamento. Estas chuvas podem provocar inundações localizadas em áreas urbanas e alagamento de vias. As inundações que geralmente ocorrem em Belo Horizonte são causadas por este tipo de precipitação. Como exemplo, pode-se citar a

inundação da Avenida Prudente de Moraes, ocorrida no dia 8 de Outubro de 2009. Sob esta avenida passa o Córrego do Leitão, canalizado e fechado. As vazões escoadas ultrapassaram a capacidade do sistema de macrodrenagem, fazendo com que as galerias viessem a transbordar, alagando a avenida em praticamente toda sua extensão (Figura 3.3).



Figura 3.3 - Inundação da Avenida Prudente de Moraes (Belo Horizonte), 07 de Outubro de 2009 (Fonte: Alisson Nogueira Braz)

Chuvas prolongadas elevam o teor de umidade do solo, provocando sua saturação e, desta forma, reduzindo a capacidade de infiltração em áreas permeáveis. Comumente, estas chuvas aumentam o fator de risco geotécnico, podendo conduzir ao deslizamento de encostas. O escoamento superficial na bacia hidrográfica aumenta, ocasionando o aumento do nível de água no leito dos rios. As inundações provocadas por este tipo de chuva têm duração longa, e tendem a atingir grandes áreas, diferentemente das chuvas intensas e localizadas. Em Belo Horizonte, este tipo de precipitação geralmente não provoca inundações. Devido ao relevo sinuoso, o escoamento se dá de forma rápida. As chuvas prolongadas, nesta cidade, são mais associadas a deslizamentos de encostas.

3.1.3.2 Urbanização

Com a urbanização, o ciclo hidrológico sofre alterações. O balanço hídrico é modificado nas bacias hidrográficas urbanas. Dos efeitos, pode-se citar: aumento do volume de escoamento superficial, redução da recarga dos aquíferos, da evapotranspiração e da interceptação.

O processo de urbanização no Brasil intensificou-se sensivelmente a partir da segunda metade do século XX. Percebe-se uma tendência mundial da população se mudar de áreas rurais para áreas urbanas à procura de melhores condições de vida. No Brasil, segundo dados do censo demográfico realizado pelo IBGE (2000), estima-se que a população urbana corresponda a 81% da população total do país. O gráfico apresentado pela Figura 3.4 ilustra a evolução do processo de urbanização do Brasil e a redução da população rural, a partir da década de 40.

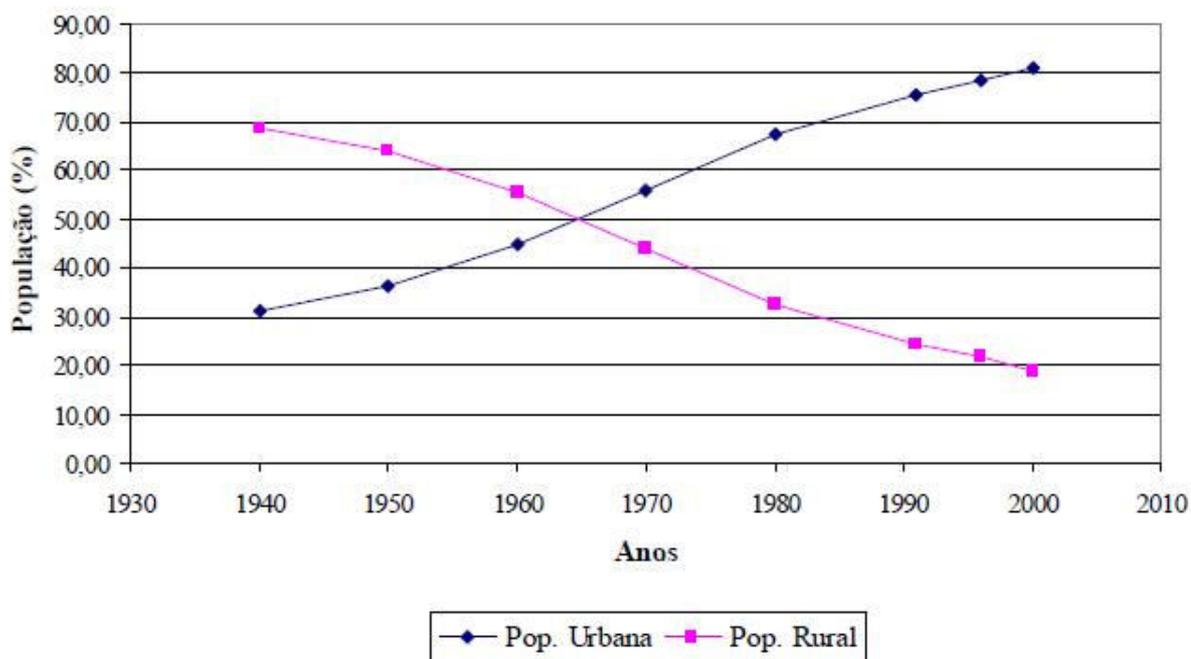


Figura 3.4 - População urbana versus população rural no Brasil (Fonte: IBGE, censos de 1940 a 2000)

O Brasil apresentou, ao longo das últimas décadas, um crescimento significativo da população urbana. Segundo Tucci e Bertoni (2003), com o desenvolvimento urbano, ocorre a impermeabilização do solo através de telhados, ruas calçadas e pátios, entre outros. Dessa forma, a parcela da água que infiltrava passa a escoar pelos condutos, aumentando o escoamento superficial. O volume que escoava lentamente pela superfície do solo e ficava

retido pelas plantas, com a urbanização, passa a escoar no canal, exigindo maior capacidade de escoamento das seções dos canais. O hidrograma típico de uma bacia natural e aquele resultante da urbanização são apresentados na Figura 3.5. Os efeitos principais da urbanização, sob os aspectos de inundações, são o aumento da vazão máxima, a antecipação do pico e o aumento do volume do escoamento superficial.

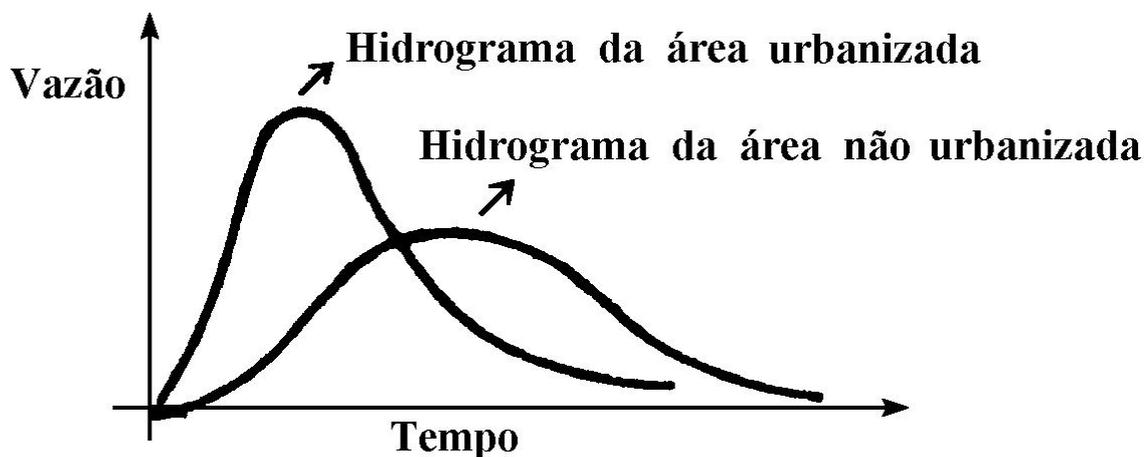


Figura 3.5 - Hidrogramas hipotéticos de áreas urbanizadas e não urbanizadas (Tucci e Bertoni, 2003)

Ainda segundo Tucci e Bertoni (2003), modificações das características naturais das bacias hidrográficas podem se refletir na ocorrência de inundações, tanto na frequência das ocorrências, quanto na intensidade das inundações. Quando se diminui a taxa de permeabilidade do solo através da urbanização, diminui-se também sua capacidade de armazenamento, como também sua rugosidade. A soma destes fatores faz com que um maior volume de água escoe em um tempo menor. A canalização dos córregos e a ocupação de suas margens por empreendimentos e vias públicas são fatores que potencializam os efeitos das inundações em meio urbano.

A tendência da urbanização é de ocorrer no sentido de jusante para montante, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Quando um loteamento é projetado, os municípios exigem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja eficiente no sentido de drenar a água do loteamento. Quando o poder público não controla essa urbanização ou não amplia a capacidade da macrodrenagem, a ocorrência das inundações aumenta, com perdas sociais e econômicas. “Normalmente, o impacto do aumento da vazão máxima sobre o restante da bacia não é avaliado pelo projetista ou exigido pelo município. A

combinação do impacto dos diferentes loteamentos produz aumento da ocorrência de inundações a jusante. Esse processo ocorre através da sobrecarga da drenagem secundária (condutos) sobre a macrodrenagem (riachos e canais) que atravessa as cidades. As áreas mais afetadas, devido à construção das novas habitações a montante, são as mais antigas, localizadas a jusante,” como mostrado na Figura 3.6 (TUCCI e BERTONI, 2003).

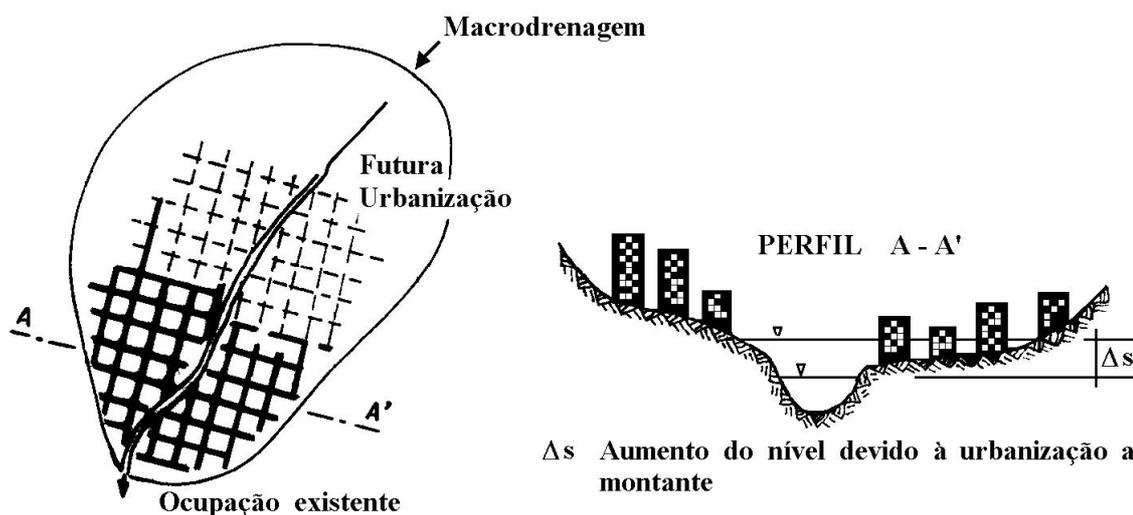


Figura 3.6 - Tendências da ocupação e o impacto no rio (Tucci e Bertoni, 2003)

A agência norte-americana de meio ambiente, *United States Environmental Protection Agency*, US-EPA (2008), apresenta o efeito da urbanização sobre algumas variáveis do ciclo hidrológico. Conforme é mostrado na Figura 3.7, variáveis como escoamento superficial e evapotranspiração são modificadas em função do percentual de área impermeabilizada. Verifica-se que a água pluvial que infiltrava no solo passa a escoar superficialmente. Além disso, pode ser observada uma redução do processo de evapotranspiração, em função da supressão da cobertura vegetal.

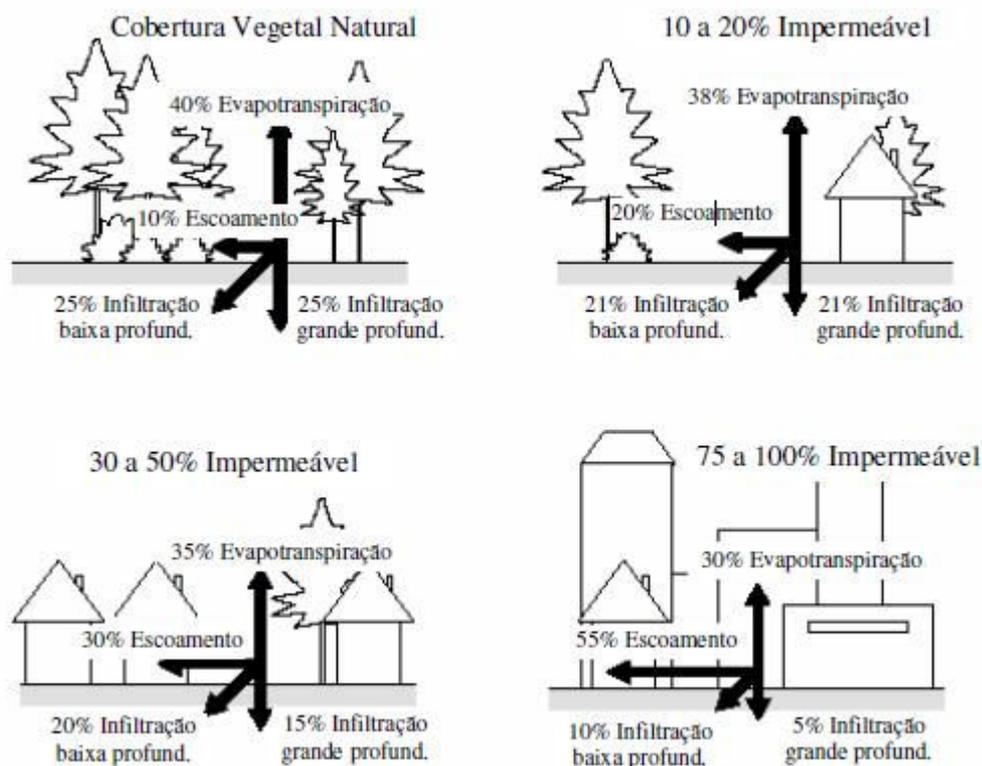


Figura 3.7 - Efeitos da urbanização nas etapas do ciclo hidrológico (Fonte: EPA *apud* Castro, 1999)

Além da urbanização, há outros fatores que podem contribuir com o agravamento dos efeitos de uma inundação. Entre eles, podem ser citados como de maior importância o acúmulo de lixo em locais inapropriados, erosões urbanas de canais em leito natural e dimensionamento inadequado de obras de drenagem.

3.2 Conseqüências das inundações

Para que a inundação cause impactos ao homem e à sociedade é necessário que a água extravasada do curso d'água atinja uma área ocupada. A avaliação dos impactos sociais e econômicos causados por inundações constitui-se em fonte fundamental de informações sobre os prejuízos causados.

Os danos de inundação são, usualmente, divididos, em um primeiro nível de classificação, em tangíveis e intangíveis, e, em um segundo nível, em diretos e indiretos. Danos tangíveis são aqueles relacionados aos prejuízos monetários. Já os definidos como intangíveis estão

associados às perturbações causadas pelas inundações de difícil implicação monetária, ou seja, são aqueles danos que são dificilmente traduzidos em valor. Os danos diretos são aqueles provenientes do contato propriamente dito com a inundação. Danos indiretos são causados pelos problemas gerados pelas inundações, onde não é preciso haver um contato direto com a inundação para ser afetado por ela, como redução da atividade econômica, desvalorização de propriedades, perda da produtividade devido ao stress (MACHADO, 2005).

Cançado (2009) *apud* Green *et al.* (2000) explica que os danos tangíveis são aqueles passíveis de mensuração em termos monetários, normalmente estimados por meio dos preços de mercado, como danos às construções e à infra-estrutura. As perdas intangíveis relacionam-se a bens de difícil quantificação. A avaliação destas perdas, por questões éticas ou ideológicas, é considerada indesejável ou inapropriada. São exemplos de danos intangíveis, a vida humana, bens de valor histórico e arqueológico e objetos de valor sentimental.

Sobre o segundo critério de classificação, os danos diretos e indiretos, Cançado (2009) explica que os danos diretos resultam do contato físico de bens e pessoas com a água de inundação. Os danos que ocorrem em consequência dos danos diretos, como interrupções e perturbações das atividades sociais e econômicas, classificam-se como indiretos. Simplificando, qualquer dano decorrente da inundação que não seja direto, é considerado indireto e pode ocorrer dentro e fora da área atingida pela inundação. O Quadro 3.1 exemplifica os danos supracitados.

Quadro 3.1 - Exemplo de danos causados por inundações a diversos setores da sociedade
(adaptado de Cançado, 2009)

	Danos Diretos	Danos Indiretos
Danos Tangíveis	<p>Danos físicos às construções (domiciliares, comerciais e de serviço) e ao conteúdo destas;</p> <p>Danos físicos a equipamentos de plantas industriais;</p> <p>Danos físicos à infraestrutura;</p> <p>Danos físicos à agricultura. Perdas totais ou parciais de culturas. Perdas totais ou parciais de sementeiras;</p>	<p>Custos com limpeza, alojamento e medicamentos. Perda de renda. Diminuição dos lucros, perda de informações e de base de dados;</p> <p>Interrupção da produção. Impossibilidade de fechar novos contratos;</p> <p>Perturbações, paralisações e congestionamento de serviços como fornecimento de água, gás e energia elétrica, telefonia e transporte;</p> <p>Perda das características do solo. Impossibilidade de realizar novos plantios. Dificuldade de obtenção de empréstimos ou financiamentos;</p>
Danos Intangíveis	<p>Ferimentos e perda de vida humana;</p> <p>Doenças e infecções veiculadas pelo contato direto com água;</p> <p>Danos ao patrimônio histórico, cultural e natural;</p> <p>Perdas de animais domésticos como bovinos, eqüinos, suínos e galináceos. Perdas de animais de estimação. Perdas de animais silvestres, enclausurados ou não.</p>	<p>Surgimento de estados psíquicos de depressão e estresse;</p> <p>Danos em longo prazo à saúde. Impossibilidade de realizar atividades de costume;</p> <p>Diminuição significativa de atividades ligadas ao turismo e ao lazer;</p> <p>Perda de produção de leite, carne, ovos, etc. Perturbações no cotidiano devido a perdas de animais de estimação. Diminuição da fauna silvestre, podendo acarretar riscos de extinção.</p>

É fácil observar que tal classificação dos danos oriundos de uma inundação é bastante subjetiva. Alguns danos são de fácil classificação quanto tangíveis ou intangíveis e diretos ou indiretos, enquanto outros vão depender da interpretação pessoal por parte de quem esteja os avaliando.

3.3 Mapeamento de inundações

Com o objetivo de delimitar as áreas sujeitas à inundação, torna-se indispensável a realização de simulações da enchente sobreposta ao mapeamento cadastral da cidade. Como resultado, tem-se mapas de risco de inundação, onde são fornecidos dados para que os órgãos de administração pública possam direcionar suas políticas de planejamento urbano e de planejamento de contingência.

O mapeamento das áreas de risco de inundação é uma ferramenta auxiliar muito poderosa no controle e prevenção de inundações. O processo de mapeamento deve ser realizado sob uma base cartográfica confiável, prezando a localização precisa de elementos das bacias hidrográficas. É conveniente que os mapas de risco sejam elaborados com o auxílio de informações de inundações anteriores, pois os valores empíricos das inundações são de grande importância.

Tais mapas podem servir a vários propósitos. Eles fornecem informações básicas iniciais para o planejamento de uso do solo, contribuindo para o desenvolvimento correto de novas áreas urbanas, assinalando locais de risco, como as planícies de inundação. Os mapas também são essenciais para a avaliação preliminar dos custos gerados por inundações. A viabilidade da implantação de sistemas não estruturais, como desvio automático do trânsito, pode ser testada utilizando os mapas de risco. Eles podem formar a base para os planejamentos de emergência, como também para o planejamento de investimentos e definição de prioridades. Não menos importante, os mapas de risco melhoram as respostas da população diante de riscos iminentes. Quando as pessoas tomam conhecimento das áreas de risco, elas são capazes de tomar pequenas medidas preventivas, como a remoção de objetos de maior valor para locais seguros (MARCO, 1994).

A construção de mapas de inundação envolve a coleta de diversos tipos de informações. Dentre estas informações, Tucci e Bertoni (2003) destacam como sendo as principais:

- Topografia do local;
- Estudo de probabilidade de inundação para o local;
- Níveis de inundação;
- Seções batimétricas ao longo do rio;
- Cadastramento de obstruções ao longo do trecho.

Em geral, os dados de vazão utilizados correspondem a estimativas obtidas por simulação hidrológica, de acordo com a intensidade e com a duração da precipitação modelada. Os dados de níveis de inundação, geralmente, são obtidos a partir de modelos hidráulicos que, a partir de dados de escoamento permanente ou não permanente e dados topográficos da área estudada, definem quais são os níveis de inundação para um hidrograma de cheia ou uma vazão de referência. Informações históricas, como marcas de inundações ou indicações de moradores, podem ser utilizadas de forma complementar à modelagem. O resultado final, ou

seja, o mapa de inundações é obtido com auxílio de ferramentas de geoprocessamento que podem agrupar um número grande de informações.

3.3.1 Modelos matemáticos aplicados ao mapeamento de inundações

Conforme lembrado por Rossi (1994), a observação dos fenômenos que provocam inundações data de meados do século XVIII, quando se deu início a observações regulares de chuvas e vazões. Porém, com o aprimoramento dos sistemas digitais, a modelagem matemática e a aquisição de dados tiveram uma evolução significativamente mais acentuada a partir de 1950. O Quadro 3.2 mostra a evolução dos métodos de análise de inundações até 1980.

Os modelos hidráulico-hidrológicos são construídos a partir de uma abordagem física dos processos, tanto hidráulico quanto hidrológico. Eles utilizam as equações da conservação de massa, energia e quantidade de movimento, seja na sua forma completa ou simplificada. Conforme explicado por Vianna (2000), com as crescentes facilidades computacionais disponíveis para o levantamento e análise de dados de bacias hidrográficas, a tendência é a utilização mais freqüente dos modelos com embasamento físico, empregando discretizações do domínio cada vez mais detalhadas. A quantidade e a qualidade de dados coletados também contribuem para o emprego de modelos de alta resolução.

Atualmente, os profissionais da área de recursos hídricos têm à disposição um grande número de modelos hidrológicos. Isso se deve às finalidades específicas de cada modelo, assim como às diferentes formulações matemáticas adotadas em cada um deles para simular os processos físicos envolvidos. Para Maksimovic (2001), a escolha do modelo adequado depende dos objetivos da modelagem, da cobertura espacial pretendida ou existente, da variabilidade e confiabilidade dos dados, da tecnologia disponível à modelagem e do conhecimento prático e científico do modelador. Quanto mais complexo o modelo a ser utilizado, mais precisos os dados hidráulicos e hidrológicos deverão ser.

Quadro 3.2 - Evolução dos métodos de análise de inundações (adaptado de Rossi, 1994)

Período	Método de análise de inundações	Principais objetivos			Desenvolvimento conceitual e tecnológico
		Projeto	Previsão	Científico	
1750 - 1850	Formulação Empírica	X		X	Início das observações regulares de chuva e nível.
1850 - 1900	Método Racional (Mylvaney, 1851)	X		X	Coleta sistemática de dados de chuva e vazão.
	Curvas envoltórias para determinações de cheias (Dickens, 1863)	X			Contador elétrico (1860).
	Linhas isócrinas (Imbeaux, 1898)	X			Venturi (1898).
1900 – 1945	Método de armazenamento em canais (Fantoli, 1904; Puppini, 1923)	X			Utilização de computadores com leitores de cartão (1900). Aplicações de cálculo diferencial. Aplicação de métodos estatísticos. Primeira geração de computadores digitais (1943)
	Análise de frequência (Füller, 1923; Foster, 1924; Hazen, 1930)	X		X	
	Hidrograma unitário (Sherman, 1932)	X	X	X	
	Precipitação Máxima Provável (NWS, 1937)	X			
	Teoria dos valores extremos	X		X	
1945 – 1970	Modelos conceituais (Nash, 1957; Dodge, 1959)	X	X		Modelos análogos para propagação de cheias (1948). Segunda geração de computadores digitais (1956). Aplicações de análise de sistemas (1956). Transmissão de dados a longa distância – telefone e rádio (1958). Aplicações de sensoriamento remoto início da década de 60. Sistemas de alerta de cheias através de estações de chuva e de nível (1960).
	Modelo de Stanford (Linsley – Crawford, 1960)			X	
	Análise regional de cheias (Dalrymple, 1960)	X		X	
	Onda cinemática (Wooding, 1960)			X	
	Modelo de escoamento comparado com resultados experimentais (Kibler, Woolhiser, 1970)			X	
1970 – hoje	Análise de séries temporais e previsões de tempo (Box, Jenkins, 1970)		X		Sistema de transmissão de dados via satélite (1972). Radar meteorológico e previsão hidrológica em tempo real (1975). Métodos ultra-sônicos e eletromagnéticos de medição de vazão (início da década de 70). Bancos de dados hidrológicos (1979). Microcomputadores e computadores pessoais para processamento de dados (início da década de 80). Sistemas de radares e satélites para previsões de curto prazo (1980). Sistemas de informações geográficas em modelos hidrológicos distribuídos (1980).
	Sistema linear com restrições (Natale Todini, 1973)		X		
	Comparação entre modelos hidrológicos (WMO, 1975)		X		
	Relatório de estudos de cheias (UK, NERC, 1975)	X			
	Sistema hidrológico europeu (Beven et al., 1980)			X	
	Hidrograma unitário geomorfológico (Rodríguez-Iturbe, Valdas, 1979)			X	

Enomoto (2004) explica que os processos de precipitação, evaporação, infiltração e escoamento superficial em rios dependem de um grande número de variáveis que nem sempre podem ser medidas. Nenhum método substitui a medição das variáveis hidrológicas que permitem aferir os parâmetros do modelo utilizado. Quanto menor for a disponibilidade de informações, maiores serão as incertezas dos prognósticos. Uma das limitações na utilização de modelos hidrológicos é a disponibilidade de dados, tanto no aspecto de quantidade quanto no aspecto de qualidade.

Na modelagem dos processos envolvidos na produção do escoamento superficial, são utilizados critérios de subdivisão espacial para representar a bacia hidrográfica. De forma geral, segundo Tucci (1998), a modelagem hidrológica adota uma das seguintes estruturas de discretização:

- Modelo concentrado: toda a bacia hidrográfica é representada por uma precipitação média e os processos hidrológicos por variáveis concentradas no espaço, isto é, valores constantes para toda a bacia. Este tipo de discretização é geralmente utilizado para pequenas bacias, onde as distribuições espaciais dos parâmetros e variáveis não comprometem os resultados;
- Modelo distribuído por sub-bacias: o modelo permite a subdivisão da bacia principal em sub-bacias, de acordo com a drenagem principal da mesma. A subdivisão é realizada com base na disponibilidade de dados, nos locais de interesse e na variabilidade dos parâmetros físicos da bacia;
- Modelo distribuído por módulos: este tipo de discretização é realizado por meio da divisão da bacia em formas geométricas como quadrados ou retângulos, sem relação direta com a forma da bacia, mas caracterizando internamente os componentes do processo. Esta divisão tem por finalidade obter um detalhamento maior, já que os módulos possuem dimensões menores que as sub-bacias anteriores. A limitação deste método é o elevado número de módulos para grandes bacias.
- Modelos de entrada-saída: consistem na identificação de uma relação entre as entradas (precipitação) e as saídas (vazão), sem se preocupar em descrever os mecanismos internos do processo. Um exemplo clássico é o método do hidrograma unitário, o qual propõe uma relação linear entre a chuva efetiva e o escoamento superficial.

De acordo com Fleming e Frost (2002), limitações técnicas e filosóficas semelhantes existem também com os modelos de engenharia hidráulica. O embasamento científico de diferentes modelos hidráulicos pode ser encontrado na literatura especializada e, frequentemente, em manuais de programas comerciais. Segue uma breve descrição de alguns tipos de modelos hidráulicos:

- Modelos unidimensionais: neste caso o rio é apresentado como um sistema unidimensional através de dados de suas seções transversais. Os programas que utilizam este tipo de tratamento das informações solucionam equações hidrodinâmicas unidimensionais para massa e momento. Apesar das simplificações, estes modelos podem fornecer estimativas razoáveis do nível d'água de um rio;
- Modelos bidimensionais: a vantagem destes modelos sobre os unidimensionais é sua habilidade em descrever as direções do fluxo, assim como sua profundidade, tanto nos canais dos rios como nas planícies de inundação;
- Modelos tridimensionais: considera-se a formação de turbulências, e são utilizados principalmente na engenharia mecânica e aeroespacial. Sua utilização na engenharia hidráulica não significa que os modelos unidimensionais ou bidimensionais poderão ser descartados, uma vez que sua aplicabilidade é bastante específica.

Como elucidado por Andres *et al.* (2009), modelos unidimensionais têm sido usados em grande escala, até os dias atuais. Uma das primeiras abordagens realizadas por modelos unidimensionais relacionam a área com o nível do rio ou a altura da inundação. Para modelos de drenagem superficial unidimensional, são representados apenas os caminhos mais prováveis do escoamento superficial. Os níveis de água destes elementos podem ser interpolados e, deste modo, usados em conjunto a um modelo digital de terreno (DTM – *Digital Terrain Model*) para produzir mapas de inundações aproximados. A principal vantagem deste método é ser computacionalmente eficiente. A principal desvantagem é a utilização de uma abordagem unidimensional para aquilo que é claramente um problema bidimensional. Porém, a abordagem unidimensional, quando tratada com cuidado, pode dar uma boa aproximação dos processos de inundação.

Enquanto os modelos hidrológicos verificam a vazão, os modelos de simulação hidráulica definem, com precisão, a capacidade que cada rede fluvial, assim como a de suas estruturas

hidráulicas, tem de drenar as águas pluviais. A modelação matemática é, atualmente, instrumento indispensável para a engenharia hidráulica aplicada à drenagem urbana.

3.4 Medidas de controle e mitigação de danos provocados por inundações

Muitos rios e terras adjacentes a estes, sujeitas à inundação durante o período de cheias, foram mantidos em estado natural durante milênios pelo homem. O conceito era que o povo não deveria instalar-se ou viver em terras inundáveis, mas sim utilizá-las para o crescimento livre da vegetação natural, para pastagens de animais domésticos ou silvestres ou para a agricultura. A vegetação nas planícies de inundação diminui a velocidade de escoamento da inundação, diminuindo a erosão e auxiliando a deposição de sedimentos finos que trazem nutrientes ao solo. Esta atitude, que minimiza os aspectos negativos, enquanto maximiza os aspectos positivos, é melhor alternativa na relação dos homens com as inundações. Este conceito está voltando a ser utilizado nos dias atuais (YEVJEVICH, 1994).

Segundo Yevjevich (1994), há ainda outros grupos de medidas utilizadas para lidar com inundações: medidas não estruturais e medidas estruturais, além do emprego conjunto de ambas. As medidas não estruturais dividem-se em três categorias: restrições à ocupação do solo, através de regulamentação da taxa de impermeabilização das bacias hidrográficas, defesa contra inundações e seguro contra inundações. As medidas estruturais podem ser extensivas e intensivas. As medidas extensivas incluem a conservação e remodelação do solo, atraso no escoamento e aumento da infiltração. As intensivas se constituem, entre outras ações, no armazenamento de água no aumento da capacidade dos canais. O uso conjunto dessas medidas, além de eficiente, pode ser a opção econômica mais atrativa.

3.4.1 Medidas estruturais

As medidas estruturais consistem na adoção de modificações na estrutura da bacia hidrográfica e do rio, que podem influenciar ou mudar as principais características do escoamento. Yevjevich (1994) explica que as medidas estruturais podem ser pontuais, lineares (ao longo do percurso do rio) e espaciais (sobre uma área da bacia). Uma estrutura de desvio de inundações pode ser considerada como pontual. Construções de bacias de detenção em trechos de um rio são exemplos de medidas estruturais lineares. Medidas estruturais espaciais são aquelas que atuam na ocupação do solo e podem modificar as características do solo da

bacia, ou de parte dela, variando sua cobertura vegetal, assim alterando características como taxa de infiltração e permeabilidade. Devido as diferenças nos efeitos que cada uma destas medidas têm para com as inundações, as medidas pontuais e lineares são ditas intensivas, enquanto as medidas espaciais são extensivas.

Yevjevich (1994) elucida que as medidas estruturais extensivas atuam no remodelamento da superfície do solo, proteção do solo contra erosão, atraso do escoamento das chuvas e aumento da taxa de infiltração. A conservação do solo, principalmente pela restauração da cobertura vegetal, plantios por técnicas adequadas, entre outras medidas semelhantes pela bacia, diminuem a erosão e a velocidade de escoamento superficial, além de aumentar a infiltração no solo. Em contrapartida, a urbanização atua de forma contrária, o que implica na ocorrência de eventos de inundação mais severos.

Medidas estruturais intensivas incluem o aumento da capacidade dos canais, estruturas de desvio de inundações, proteção de parte das planícies de inundação para atividades especiais, como parques industriais, criação de reservatórios, bacias de retenção e barragens. Tais medidas podem atenuar ou amplificar os picos de cheia. Geralmente, a criação de novas áreas de armazenamento de água vem atenuar as ondas de cheia, enquanto estruturas de proteção como diques normalmente têm efeitos contrários. Porém, modificações no armazenamento de água de uma bacia podem alterar suas taxas de infiltração e de evaporação, com consequências no volume total de água escoado (YEVJEVICH, 1994).

O aumento da capacidade de escoamento dos rios é também uma medida estrutural intensiva. Isto é feito de diversas maneiras como a canalização do rio, diminuindo sua rugosidade, e modificações na seção do canal, alterando largura, profundidade e declividade. Esta medida, porém, tem como consequência a possibilidade de transferir a inundação para áreas antes seguras, ou com baixa ocorrência de inundações.

As medidas estruturais intensivas geram um impacto maior no meio ambiente, quando comparadas às extensivas. A canalização de rios modifica completamente seu ecossistema, quando não elimina toda a fauna e flora ribeirinhas, assim como a construção de diques e a urbanização de margens e planícies de inundação. Barragens e reservatórios, além de alagar grandes áreas, podem afetar o sistema de infiltração e evaporação da bacia hidrográfica.

3.4.2 Medidas não-estruturais

Segundo Yevjevich (1994) e Tucci e Bertoni (2003), medidas não estruturais de inundação podem ser agrupadas em: zoneamento de áreas de inundação através de regulamentação do uso da terra, construções à prova de inundações, seguro de inundação, previsão e alerta de inundação e criação de planos de contingência para inundações. Elas não lidam com as inundações no sentido de mudar suas principais características. Tais medidas são tomadas para mudar os impactos e as consequências de uma inundação, sem modificar as características físicas e morfológicas da bacia e do rio.

A regulamentação determina como o homem pode ocupar as planícies de inundação e outras áreas suscetíveis a inundações, quais atividades podem ser desenvolvidas e quais tipos de edificações podem ser construídas nestas áreas. Através da regulamentação, é esperado prescrever o que pode ser feito em cada área, considerando a probabilidade de serem inundadas. Isto é feito através de leis, estatutos, acordos, contratos ou outros métodos de regulamentação (YEVJEVICH, 1994).

De acordo com Yevjevich (1994), defesas contra inundações consistem basicamente em previsão, alerta, evacuação e defesas físicas. O objetivo é minimizar os impactos de uma inundação por meios não estruturais. A previsão de inundação em grandes rios é relativamente precisa e realizada com tempo de antecedência suficiente para que os alertas sejam bem distribuídos à população, até mesmo por veículos de comunicação pública, como rádio, televisão, folhetos informativos, carro de som e mensagens via telefones celulares. Aspectos semelhantes ocorrem para a evacuação e defesa, desde que haja mais tempo disponível, tanto para a remoção das pessoas, assim como de tudo que possa ser danificado ou perdido, quanto para os preparativos de proteção e defesa das áreas inundáveis. Porém, para inundações rápidas em rios menores a previsão pode não oferecer tempo suficiente para que medidas de alerta, evacuação e defesa sejam tomadas corretamente.

Yevjevich (1994) ainda explica que dentro do campo das medidas não estruturais, há também os seguros contra inundações. O seguro contra inundações pode partir da assistência do governo a desastres, como também de seguros privados. Os beneficiados pelo seguro deverão pagar pelo benefício, seja através de taxas ou impostos, como também por apólices privadas de seguro.

Dados e informações sobre as características das inundações são necessários para se melhorar a utilização de medidas não estruturais para a mitigação dos impactos das mesmas. Portanto, observações hidrológicas, investigações sobre os danos decorrentes de inundações e pesquisa sobre inundações e suas consequências podem melhorar a efetividade destes métodos.

3.5 Tráfego

Segundo a Federação Nacional de Distribuição de Veículos Automotores, FENABRAVE (2010), no ano de 1999 circulavam pelo país 18,8 milhões de automóveis, 3 milhões de motocicletas e 243 mil ônibus. Em 2009 estavam registrados no Brasil 32,7 milhões de automóveis, 11,4 milhões de motocicletas e 407,6 mil ônibus. A melhoria de vias públicas, estradas, criação de locais de estacionamento, assim como a melhoria do transporte urbano, não correspondeu ao aumento acentuado de veículos em circulação em tão pouco tempo nas estradas e nas ruas das cidades.

Segundo Dourado (2007), técnicas conhecidas como Gerenciamento da Demanda de Tráfego (*Traffic Demand Management* - TDM) aumentam a eficiência do sistema de transportes, ajudando os usuários a utilizar esse sistema da forma mais otimizada possível, o que normalmente reduz o tráfego de veículos. Para que a redução nos níveis de congestionamentos seja alcançada, é necessário que se dê prioridade a modos de transporte que possuem o menor custo para a sociedade, assim como um maior valor para a viagem, ou seja, deve-se dar maior valor ao transporte público, a políticas de carona e a viagens não-motorizadas, ao invés de automóveis.

3.5.1 Inundações e tráfego

As inundações podem prejudicar todo o sistema de transporte. Quando um segmento de uma rede viária é fechado devido a inundações, diferentes impactos podem ser observados. Ocorrem modificações em todas as características do fluxo de veículos, incluindo o congestionamento das vias de tráfego, aumento da densidade de tráfego, diminuição da velocidade média e aumento no tempo de viagem. (HOSSAIN e DAVIES, 2004)

De acordo com Parker *et al.* (1987), as inundações podem interromper os transportes férreos, fluviais e aéreos. Mas a interrupção mais comum ocorre nos sistemas viários, seja ela em vias urbanas ou em rodovias. Quando se trata de trânsito, os dados relacionados a danos por profundidade ou duração de uma inundação podem ser estimados ou calculados. Todavia, a

utilização destes dados é limitada, caso não sejam observados os custos relacionados aos danos indiretos, que, por sua vez, são bastante específicos a uma dada localidade.

Quando um município sofre uma inundação, a perturbação refletida no tráfego está diretamente relacionada às características urbanas da localidade. Isto dificulta a utilização de metodologias padronizadas. Pode-se fazer uso de mapas viários, mapas de inundação e informações sobre o tráfego local, para se avaliar o custo de uma perturbação do tráfego (CANÇADO, 2009).

Dependendo da magnitude do desastre natural, alguns impactos à infra-estrutura podem ser observados com facilidade, como ilustrado na Figura 3.8, onde o asfalto da via ficou seriamente comprometido após uma inundação.



Figura 3.8 - Inundação da Av. Prudente de Moraes, 07 de Outubro de 2009: danos causados à Rua Guaicuí (Fonte: Arthur Furtado)

Além de danos à infra-estrutura, veículos podem sofrer sérios danos durante as inundações. Se estiverem ocupados, a perda de vidas pode não ser evitada. As Figuras Figura 3.9 e Figura 3.10 mostram veículos atingidos por inundações distintas em Belo Horizonte.



Figura 3.9 - Carros arrastados durante a inundação do Ribeirão Arrudas - 31 de dezembro de 2008 (fonte: Funda o Educacional e Cultural Metropolitana – FECM-BH)



Figura 3.10 - Carro jogado contra o muro - Inunda o na Avenida Prudente de Moraes, 07 de outubro de 2009

Além destes danos, que podem ser agrupados em danos diretos e tangíveis, Suarez *et al.* (2005) citam a importância em se avaliar outros impactos da inunda o sobre o sistema de transporte, que podem ser agrupados como danos indiretos:

- Algumas viagens serão canceladas, porque o local de origem ou o local de destino é inundado. Por exemplo, algumas viagens de trabalho ou viagens de compras não ocorrerão porque os lares, os locais de trabalho ou pontos comerciais estarão inundados;
- O tempo de viagem será muito maior devido à inundação. Isso pode ocorrer porque os viajantes são forçados a seguir por rotas diferentes desde a origem até o destino, para evitar trechos intransitáveis, ou como um resultado da sobrecarga das vias.

Segundo Cançado (2009), os danos indiretos causados pelas perturbações no tráfego resumem-se no custo de transporte adicional, ou custo material, e no custo de oportunidade causado pelo atraso de chegada ao destino, ou custos por tempo de atraso. Podem-se citar alguns fatores que influenciam os custos causados por perturbação no tráfego, entre eles: intensidade do tráfego, tráfego em relação à capacidade da via, frequência de inundação, profundidade, extensão e duração da inundação, extensão e duração do desvio e tipos de vias das rotas de desvio.

Para um melhor detalhamento dos danos ao sistema de tráfego, provocados por inundações, é necessário conhecer alguns parâmetros deste sistema. A rede viária é composta pelo conjunto de nós e trechos de ligação. Nos nós, um serviço é produzido ou consumido. Os trechos de ligação transportam unidades discretas, como carros, motocicletas, ônibus ou caminhões. Os viajantes são consumidores que recebem os benefícios da rede para chegar ao seu destino. Conforme já citado anteriormente, as inundações podem causar danos ao trânsito de duas maneiras diferentes: custos adicionais ao transporte e os danos causados pelo valor monetário do tempo. Os custos de transporte incluem combustível, óleo e custos de amortização. Perdas no tempo, por inundações, representam oportunidades perdidas, que poderão não ser recuperadas, já que não se pode voltar no tempo. O tempo desperdiçado em uma inundação pode não ser recuperado e representa uma perda de recursos ou de oportunidades (BRUZELIUS, 1980).

Para que os danos no sistema de transporte viário sejam reduzidos, é necessário um gerenciamento das características do trânsito nas áreas de risco. Um conjunto de medidas deverá ser adotado para este fim.

3.5.2 Gerenciamento do tráfego

Segundo Dourado (2007), o gerenciamento da demanda de tráfego, ou apenas gerenciamento do tráfego refere-se a um conjunto de estratégias que mudam o comportamento das viagens no tempo, espaço e no modo de transporte. As técnicas de gerenciamento do tráfego atuam de maneira a aumentar a eficiência do sistema de transporte e a alcançar objetivos específicos como redução de congestionamentos, o aumento da segurança, diminuição do consumo de combustíveis e redução na emissão de poluentes.

O gerenciamento do tráfego se propõe a reduzir os congestionamentos, entre outros problemas, através da redução da demanda diária ou em determinados períodos do dia, e não através do aumento da capacidade, que é traduzido pela criação de nova infra-estrutura viária. Além disso, outros benefícios podem ser vistos, como a redução de custos para o setor público e para o usuário, devido à redução do número de acidentes e no número de obras de infraestrutura, aumento da segurança viária e aumento da qualidade ambiental e de vida, devido à redução dos congestionamentos e tempo de viagem (DOURADO, 2007).

Existem diversas técnicas de gerenciamento do tráfego, cada uma delas com suas particularidades e objetivos específicos. Algumas destas técnicas podem ser direcionadas para o gerenciamento do tráfego em caso de inundações. Conforme explicado por Dourado (2007), independente de quais técnicas serão utilizadas, um dos componentes de maior importância para que sejam bem sucedidas é a divulgação da informação para o usuário. As informações devem estar disponíveis tanto para motoristas quanto para usuários do sistema de transporte público, antes e durante a viagem. A informação tem um impacto significativo no gerenciamento do tráfego. Sistemas inteligentes de informação em tempo real ajudam os usuários a tomar decisões tanto no modo de viajar, quanto quando e por onde realizar a viagem.

Em áreas urbanas, as inundações podem provocar grandes transtornos nas vias de tráfego. Na avaliação dos benefícios da adoção de medidas de proteção contra inundações, deve-se verificar a importância dos custos provocados pela interrupção do tráfego nas áreas afetadas. Tais custos dependem da importância das vias de tráfego atingidas e podem justificar a adoção de medidas como a implantação de planos de contingência de inundações, dedicados especificamente ao trânsito.

Parker *et al.* (1987) recomendam a adoção de alguns métodos no sentido de mitigar os danos ao tráfego, provocados por inundações:

- Avaliação preliminar ou avaliação aproximada: nesta etapa são feitas análises de vulnerabilidade para determinar se os custos da interrupção do tráfego na área são significativos. É feito um estudo para avaliar a necessidade de emprego de ferramentas computacionais, assim como um levantamento das vias vulneráveis a inundações causadas por chuvas de tempo de retorno iguais ou inferiores a 25 anos. São determinadas as vias de tráfego de maior importância e que poderão ser afetadas, direta ou indiretamente, por interrupções. Esta etapa requer dados de mapas rodoviários, mapas de inundação para chuvas de diferentes tempos de retorno, que informem a profundidade da inundação e a área atingida, e informações sobre o fluxo de veículos da região, principais eixos viários e pontos de congestionamento;
- Avaliação em escala intermediária: este método deve ser utilizado caso a rede pesquisada seja complexa, ou exija maior nível de detalhes. Pode ser usado também para grandes redes de tráfego com vários eixos viários de ligação. Se os custos por interrupção do tráfego apresentarem-se elevados, este método pode ser empregado. Ferramentas computacionais são necessárias para elaboração de diferentes cenários de interrupção do tráfego e para cálculo dos custos. Os mapas viários precisam conter maior número de informações e é preciso ter acesso a dados de fluxo de veículos nas vias, isto é, o número de veículos que circulam por hora nas principais vias. Para modelagem computacional, é preciso levar em consideração informações como o tipo de calçamento, extensão das vias, número de faixas de trânsito e a velocidade média da via;
- Avaliação detalhada: empregada em casos mais complexos, onde uma maior precisão dos resultados é exigida. Nestes casos, são inseridos nos modelos computacionais pontos de ônibus, assim como o número médio de passageiros em cada veículo e dados de origem e destino das viagens. Os modelos computacionais deverão apresentar resultados minuciosos quanto à variação dos custos. Esta metodologia é usada principalmente no projeto de novos eixos de tráfego.

Sistemas de alerta poderão ser desenvolvidos especialmente para o tráfego. Um exemplo de mecanismo que pode ser usado para fornecer informações em tempo real para os usuários é o Painel de Mensagem Variável.

Os Painéis de Mensagem Variável (PMV) são uma forma de disseminar informações gerais ou específicas sobre as condições de tráfego em uma região. São normalmente instalados em portais fixos montados sobre as vias, mas podem ser também do tipo móvel, para informações que não necessitam de ser mostradas por um longo período de tempo em locais onde os permanentes não estão instalados. A informação transmitida pode ter sido coletada através de detectores instalados nas vias, tais como laços de indução e câmeras de vídeo. Estes painéis podem prover informações sobre congestionamentos, acidentes, condições meteorológicas, além de informar a localização de acidentes ou bloqueios nas vias, como os causados por inundações (DOURADO, 2007).

No caso de inundações, além da utilização de artifícios tecnológicos nos sistemas de alerta, o tráfego deve ser sempre monitorado pela empresa gerenciadora, seja ela pública ou privada. As ações das equipes de emergência devem seguir os preceitos básicos contidos no planejamento de contingência de inundações para o trânsito. Em Belo Horizonte, a Empresa de Transportes e Trânsito de Belo Horizonte (BHTRANS) é responsável pela criação e execução de medidas emergenciais para minimizar danos ao trânsito.

3.6 Planejamento de contingência de inundações

Não há como evitar a ocorrência de inundações. Porém, há maneiras de minimizar os impactos causados por elas. Uma delas é a criação de planos de alerta e emergência eficientes. E para que tais planos possam ser empregados em tempo hábil, um sistema de previsão consistente deve ser capaz de fornecer informações com o máximo de precisão e com a máxima antecedência possível.

Segundo Nascimento (2011), o plano de contingência de inundação é um instrumento gerencial adotado pela administração pública para reunir recursos humanos e técnicos para prevenção de inundações, mitigação dos danos por elas causados e recuperação de áreas atingidas. O principal objetivo de um plano de contingência de inundações é a redução dos impactos causados por inundações aos bens expostos em áreas de risco, aos habitantes e às pessoas em trânsito nestas áreas e, principalmente, a redução dos riscos à vida. Os planos de contingência podem ser considerados medidas não estruturais de controle de inundações. Entretanto, podem incorporar ações de caráter estrutural, como a operação de bacias de detenção, comportas e outros dispositivos hidráulicos. O plano de contingência de inundação é também conhecido como plano de emergência ou plano para a gestão de risco.

Sene (2008) define estes planos como ações a serem tomadas antes, durante e logo após a um evento de inundação. Normalmente, estas ações cobrem procedimentos operacionais, medidas emergenciais, questões de saúde e segurança, procedimentos de divulgação pública, sistemas de alertas, medidas de evacuação e definição de rotas de fuga e abrigos.

Alexander (2002) divide o planejamento de contingência de inundações em quatro grandes áreas de atuação: mitigação, preparação, resposta e recuperação, incluindo a reconstrução dos locais atingidos. A mitigação compreende principalmente as ações não estruturais desenvolvidas para se reduzir os impactos de futuros desastres, conforme apresentado anteriormente. A preparação é o conjunto de medidas de segurança a serem tomadas quando a inundação for prevista, ou iminente. Incluem-se em medidas de segurança, sistemas de alerta e planos de evacuação. Resposta ao desastre refere-se tanto a ações emergenciais tomadas durante o evento quanto àquelas tomadas logo após o evento. Recuperação é o processo de reparação dos danos, restabelecimento dos serviços e reconstrução, após o desastre, das instalações atingidas.

No planejamento de contingência de inundações, devem ser citados os procedimentos de aviso e alerta, tanto para os órgãos públicos quanto para a população. Para que o sistema de alerta tenha uma boa confiabilidade, é necessário que os sistemas de previsão de chuvas ou de inundações ofereçam maior precisão e antecedência de eventos futuros. De acordo com Nascimento (2011), apesar dos sistemas de previsão e de alerta não integrarem de forma direta os planos de contingência, eles são essenciais para seu sucesso.

3.6.1 Sistemas de alerta

O processo de alerta envolve medidas técnicas e sociais. Requer um conhecimento adequado das ameaças iminentes, assim como dos meios de divulgação de informações e de instruções. A partir do momento em que uma previsão científica de um risco iminente é recebida, os órgãos responsáveis têm que decidir se haverá a divulgação de um alerta, quem deve ser avisado e como serão dados os avisos. Se não ocorrerem avisos quando a probabilidade do evento ocorrer for alta, os responsáveis podem ser considerados negligentes. Por outro lado, um falso alarme reduz a confiança da população nos sistemas de alerta (ALEXANDER, 2002).

Feldman (1994) divide os componentes dos sistemas de alerta de inundação da seguinte maneira:

- Observação dos fenômenos capazes de causar inundações;
- Comunicação ao centro de análise, se este for independente do centro de observação;
- Reconhecimento das ameaças e previsão de desastres;
- Comunicação com o centro de avisos ou alertas;
- Alertas propriamente ditos;
- Ações: implantação das equipes de emergência, evacuação, entre outras.

A observação e a análise dos fenômenos capazes de provocar inundações são ações delegadas aos sistemas de previsão. Medidas como a implantação de equipes de emergência e evacuação de áreas de risco devem fazer parte do plano de emergência. Nota-se que o planejamento de contingência de inundações, os sistemas de previsão e os sistemas de alerta, apesar de independentes, devem trabalhar em conjunto para a obtenção de melhores resultados frente a eventos de inundação.

De acordo com Feldman (1994), a coleta de dados confiáveis, sua transmissão, recepção e armazenamento, assim como os sistemas de análise de dados, são necessários para a implementação de um sistema de alerta eficiente. Todo o sistema de alerta deve ser projetado para suportar as forças da natureza. Deve haver caminhos redundantes para o processamento de dados, ou até mesmo sistemas de alerta paralelos, de forma a aumentar a segurança.

Os sistemas de alerta de inundações definem como serão os avisos e os alarmes necessários para que ações corretas possam ser tomadas com o desenvolvimento de eventos relacionados a inundação. Quando ocorrem eventos críticos, há pouco tempo disponível para análises e discussões sobre como os alertas deverão ser dados à população. Dado que as inundações podem ocorrer a qualquer momento do dia ou da noite, pessoas com menor experiência, responsáveis pelo alerta, podem necessitar de orientações claras das ações a serem tomadas. Se estes procedimentos não estiverem disponíveis, ou se eles não cobrirem todas as eventualidades prováveis, ações vitais à segurança poderão ser negligenciadas (SENE, 2008).

Os sistemas de alerta podem ser compostos por níveis de alerta. Os alertas poderão variar seus níveis no decorrer do tempo, conforme o desenvolvimento de um evento de inundação. Alexander (2002) cita exemplos de estágios, ou níveis, que um sistema de alerta contra

inundações deve conter, assim como as medidas a serem tomadas em cada nível de alerta, conforme ilustrado pelo Quadro 3.3.

Quadro 3.3 – Modelo de estágios de alerta para desastres naturais (Adaptado de Alexander, 2002)

Níveis de Alerta	Situação física	Previsão	Ações Científicas	Ações Sociais
Nível 0: alerta branco (ou verde)	Área sujeita a risco.	Nenhum efeito esperado para o futuro próximo.	<ul style="list-style-type: none"> - Definir áreas sujeitas a riscos específicos; - Definir níveis de risco; - Estimar a probabilidade de ocorrência de eventos extremos; - Identificar possíveis riscos secundários; - Monitorar fenômenos precursores. 	<ul style="list-style-type: none"> - Medidas de longo prazo de mitigação de danos; - Campanhas de sensibilização; - Exercícios de campo (simulação).
Nível 1: alerta amarelo	Primeiros sinais precursores de eventos extremos detectados.	Pode levar, eventualmente, a um evento extremo.	<ul style="list-style-type: none"> - Intensificar os esforços em monitoramento; - Abrir canais de comunicação prioritária para os cientistas envolvidos; - Estabelecer contato com as autoridades civis. 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificar a disponibilidade de equipamento e de pessoal; - Revisar o plano de emergência.
Nível 2: alerta laranja	Os sinais observados continuam a crescer em importância; Ritmo acelerado de mudanças nas condições climáticas.	<p>Maior probabilidade de ocorrência de eventos extremos;</p> <p>Diminuição do tempo de ocorrência das mudanças climáticas.</p>	<ul style="list-style-type: none"> -Monitoramento intensivo e em escala de tempo menor; -Contato constante com as autoridades; -Boletins informativos constantes. 	<ul style="list-style-type: none"> -Equipe de emergência informada e preparada para agir; -Avisos preliminares à população através da mídia; -Remoção de substâncias perigosas para locais seguros; -Início da evacuação de grupos vulneráveis; -Alerta preliminar.

(Continua...)

(... continuação – Quadro 3.3)

Níveis de Alerta	Situação física	Previsão	Ações Científicas	Ações Sociais
Nível 3: alerta vermelho – Alerta de Perigo	Início da ocorrência de pequenos e médios eventos destrutivos.	Expectativa de eventos destrutivos de grande intensidade; Possibilidade de ocorrência em até 72 horas.	-Monitoramento intensivo de todas as fontes de dados; -Análise em tempo real dos resultados; -Contato e colaboração constante com as autoridades; -Boletins freqüentes; -Medidas emergenciais colocadas em prática.	-Evacuação geral da população ameaçada; -Monitoramento das ações da população; -Ativação de todos os serviços de emergência; -Interdição das áreas de risco; -Desligamento do fornecimento de gás, água e energia.
Nível 4: alerta roxo – Alerta Máximo	Início de grandes eventos destrutivos em pelo menos uma área.	Atenção quanto à duração dos impactos; Probabilidade e monitoramento de possíveis repetições; Análise da variação da intensidade.	Iguais ao nível 3.	Continuação da evacuação; Serviços de emergência; Assistência às pessoas evacuadas; Interdição das áreas afetadas.

A divisão dos alertas em níveis faz com que o sistema de alerta trabalhe em fases temporais, de acordo com o desenvolvimento de um evento extremo. Para que este sistema seja eficaz e os alertas de diferentes níveis cheguem às pessoas certas, deve haver um zoneamento de risco que determine a qual risco uma região é suscetível. De acordo com Alexander (2002), além das fases temporais de um alerta, deve haver também divisões espaciais, ou geográficas, que irão determinar o alcance dos avisos. Através de zoneamentos de risco, as condições emergenciais frente a um desastre poderão ser avaliadas imediatamente. Alexander (2002) sugere uma divisão genérica de áreas de risco para o zoneamento, como se segue:

- Zonas brancas: áreas seguras;
- Zonas verdes: áreas potencialmente sujeitas a ameaças, mas que ainda não carecem de medidas especiais;

- Zonas amarelas: áreas sujeitas à vigilância intensiva. Treinamento de grupos compostos por indivíduos da população local para evacuação parcial. Outros ocupantes destas áreas devem ter conhecimento dos riscos, assim como as medidas a serem tomadas frente um desastre;
- Zonas vermelhas: áreas sujeitas à evacuação total por grupos com treinamentos especiais e interdição de acesso público. O acesso a estas áreas deve ser limitado apenas aos grupos de emergência. Toda a população local deve ter conhecimento prévio sobre os riscos, assim como sobre as medidas de evacuação.

A implantação deste regime requer definições consistentes sobre o zoneamento, ampla e bem difundida publicidade sobre os mapas resultantes, monitoramento ininterrupto das ameaças e controle de acesso aos principais pontos de entrada e saída das zonas restritas. Estas definições devem ser claras, amplamente divulgadas e impostas firmemente, para que os resultados sejam satisfatórios (ALEXANDER, 2002).

Atualmente, há pesquisas focadas em técnicas automatizadas e no emprego de tecnologias avançadas para a previsão e o alerta de inundações. Por outro lado, as técnicas mais simples e menos onerosas têm um papel importante a desempenhar, principalmente quando os orçamentos são limitados ou quando o risco de inundação não justificar o investimento em abordagens mais complexas.

3.6.2 Resposta de emergência

Em muitos países, há uma separação de responsabilidades entre o serviço de alerta de inundações, os serviços de previsão e as equipes de emergência, que podem envolver a polícia, os bombeiros e as autoridades locais. No entanto, a organização mediante a um alerta de inundação pode variar amplamente. Em alguns países, o serviço meteorológico é responsável pela emissão de avisos. Paralelamente é feita a gestão da bacia hidrográfica pelas autoridades, responsáveis pelas ações emergenciais.

Um evento de inundação muitas vezes exige múltiplas ações, que podem envolver as autoridades locais, serviços de emergência, operações no sistema de transporte, operações nos serviços de utilidade pública, como distribuição de água, luz, combustíveis, operações nos serviços de telecomunicações, mobilização militar, serviços de pronto-atendimento médico, entre outros. A resposta pode incluir o fechamento de rotas de transporte, proteção de

instalações, como instalações de energia e de tratamento de água, reforço de proteções contra inundações já existentes, criação de abrigos, operações de resgate (SENE, 2008).

Sene (2008) explica que ações individuais são importantes medidas de resposta a inundações. No momento em que a população se sensibiliza quanto à importância de ações simples, perdas e danos oriundos de inundações podem ser minimizados, e até evitados. As autoridades devem esclarecer a população vulnerável sobre quais as melhores medidas a serem tomadas em eventos de inundação e, quando possível, realizar treinamentos públicos para se enfrentar um desastre. Dentre as ações individuais mais importantes, podem-se destacar:

- Elevar móveis e eletrodomésticos;
- Conduzir os veículos para locais seguros;
- Proteger documentos e objetos de valor;
- Proteger as construções contra o fluxo d'água;
- Desligar o gás e a eletricidade domésticos;
- Desconectar eletrodomésticos pesados, como geladeiras e máquinas de lavar;
- Proteger animais domésticos.

Além destas medidas individuais, algumas medidas públicas devem ser tomadas em situações de risco, no intuito de se minimizar perdas e danos à infra-estrutura, além de estabelecer uma segurança maior às pessoas. As autoridades, além de alertar a população a tempo para que ela possa procurar proteção, podem tomar outras ações com o objetivo de proteção pública. Sene (2008) cita as mais importantes:

- Desligar o fornecimento de gás e de energia;
- Proteger tanques de combustíveis e demais substâncias que ofereçam riscos ambientais;
- Instalar bombas d'água em locais estratégicos;
- Redirecionar o fluxo das águas pluviais.

Além destas medidas, Sene (2008) cita outras de semelhante importância:

- Prestação de busca, salvamento, evacuação e serviços;
- Encerramento das atividades em escolas e transporte dos alunos, frente a uma perspectiva de inundação;

- Controles de tráfego para facilitar a evacuação e prevenção de viagem acidental em áreas de risco;
- Acionamento dos bombeiros e serviços de emergência para proteção contínua;
- Estabelecimento de serviços de emergência médica e abrigos;
- Relocalização ou empilhamento de conteúdo de estruturas privadas;
- Iniciar os esforços de combate a inundações, como barreiras com sacos de areia, caso a inundação tenha sido prevista;
- Estabelecimento de segurança para evitar saques.

As indústrias também podem tomar ações para reduzir os danos à produção, aos produtos estocados, a equipamentos e sistemas envolvidos no processo e vulneráveis à inundação. Dependendo da hora do dia e da antecedência do aviso ou alarme de inundação, as indústrias podem dispensar os funcionários ou aconselhá-los a não irem trabalhar, para minimizar os riscos.

As respostas de emergências podem ter melhores resultados quando são precedidas de um planejamento, ou quando atuam sob um plano de emergência. Planos de emergência a inundações descrevem as ações a tomar antes, durante e após os eventos de inundação. Este tipo de planejamento deve abordar os procedimentos operacionais no caso de desastres naturais vierem a ocorrer. Quanto maior a abrangência das informações que chegam às agências de saúde e de segurança, como a defesa civil, mais eficazes serão os planos emergenciais. Procedimentos de comunicação com a mídia e com o público, e informações sobre acesso a locais seguros, vias de evacuação e abrigos são essenciais para que as respostas a emergências tenham bons resultados.

Como já dito anteriormente, as inundações que atingem Belo Horizonte são, normalmente, inundações rápidas, geralmente provocadas por chuvas de origem convectiva. Estas chuvas são de difícil previsão, pois a cidade não possui sistemas de radares meteorológicos. Os planos de emergência para contingência de inundações devem levar este fato em consideração.

4 Área de estudo

A Região Metropolitana de Belo Horizonte, RMBH, vem apresentando um desenvolvimento acentuado das áreas urbanas nos últimos 25 anos. Isto tem agravado os problemas desta região em vários aspectos, como aumento da ocorrência de inundações e de deslizamentos de encostas e piora nas condições do tráfego urbano.

O regime de chuvas na RMBH caracteriza-se por verões chuvosos e invernos secos. Os meses de novembro, dezembro e janeiro são os mais chuvosos, podendo este período chuvoso se estender até março. De acordo com uma pesquisa realizada por Pinheiro e Naghettini (1988), a maior tempestade de 24 horas de duração ocorrida na região nos últimos 100 anos, segundo dados históricos não oficiais, aconteceu em fevereiro de 1978. O volume total medido pela estação pluviográfica de Caeté (código 01943010) para este evento foi de 266 mm.

Esta pesquisa estuda uma importante bacia hidrográfica de Belo Horizonte, a Bacia do Córrego Vilarinho, na Região de Venda Nova. Esta bacia foi escolhida por apresentar vários pontos com risco elevado de inundação. Outros estudos e experimentos do SWITCH também são desenvolvidos naquela área. A bacia apresenta as características necessárias para a pesquisa, como topografia e regimes pluviométricos peculiares à Região Metropolitana de Belo Horizonte, podendo assim servir de base para estudos semelhantes em outras bacias hidrográficas da região.

A região de Venda Nova possui uma área de 27,61 km² (2761 hectares), o que corresponde a aproximadamente 8% da área total do município. A população de Venda Nova, segundo censo do IBGE (2000), é de 245.334 habitantes, correspondendo a aproximadamente 11% da população total do município. A densidade demográfica da região é de 8.886 habitantes por quilômetro quadrado, superior à densidade demográfica do município, que é de 7.292 habitantes por quilômetro quadrado. Conclui-se que é uma região de alta densidade habitacional e de importância significativa. Segundo o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD Brasil, 2010) a renda média mensal da área de estudo é de R\$ 558,82, enquanto a renda média mensal de Belo Horizonte é de R\$ 1.939,00. A Figura 4.1 ilustra a localização da Região de Venda Nova no município de Belo Horizonte.

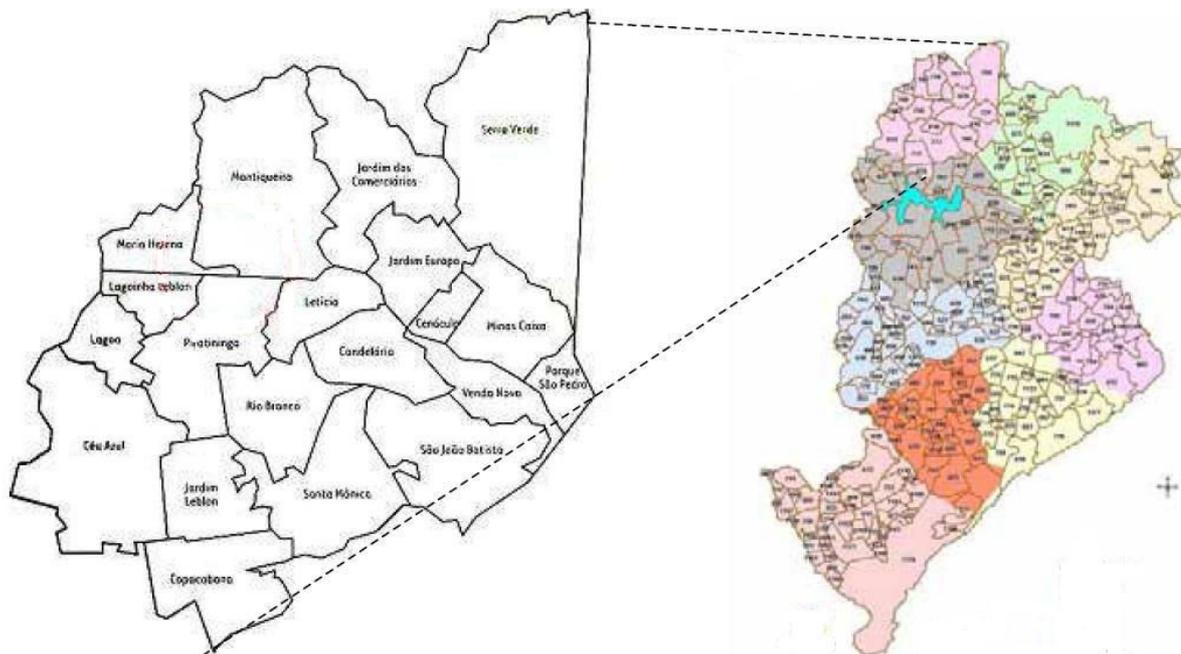


Figura 4.1 - Regiões Administrativas de Belo Horizonte (PBH, 2010)

A Bacia do Vilarinho é densamente povoada, ocupada principalmente pelos setores residencial e comercial. A ocorrência de inundações é regular e tais inundações são provocadas principalmente por chuvas intensas e localizadas, de curto período de duração. A Figura 4.2 mostra as manchas de inundação da região para uma chuva de projeto de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração. A existência de dados históricos e a ampla ocupação das planícies de inundação foram fatores decisivos para a escolha da Bacia do Vilarinho como área de estudo desta pesquisa. O estudo engloba uma visão geral do comportamento hidráulico e hidrológico do canal principal, por onde passa o Córrego Vilarinho.

Por ser uma bacia urbana, a Bacia do Vilarinho possui uma taxa de impermeabilização média de 60% (PBH, 2008). A impermeabilização do solo, conforme mencionado anteriormente, aumenta o escoamento superficial na região, uma vez que diminui a taxa de infiltração da bacia. Como a bacia possui declividades elevadas, a água de escoamento superficial chega rapidamente aos canais, fazendo-os transbordar. Esta é uma característica das inundações rápidas.

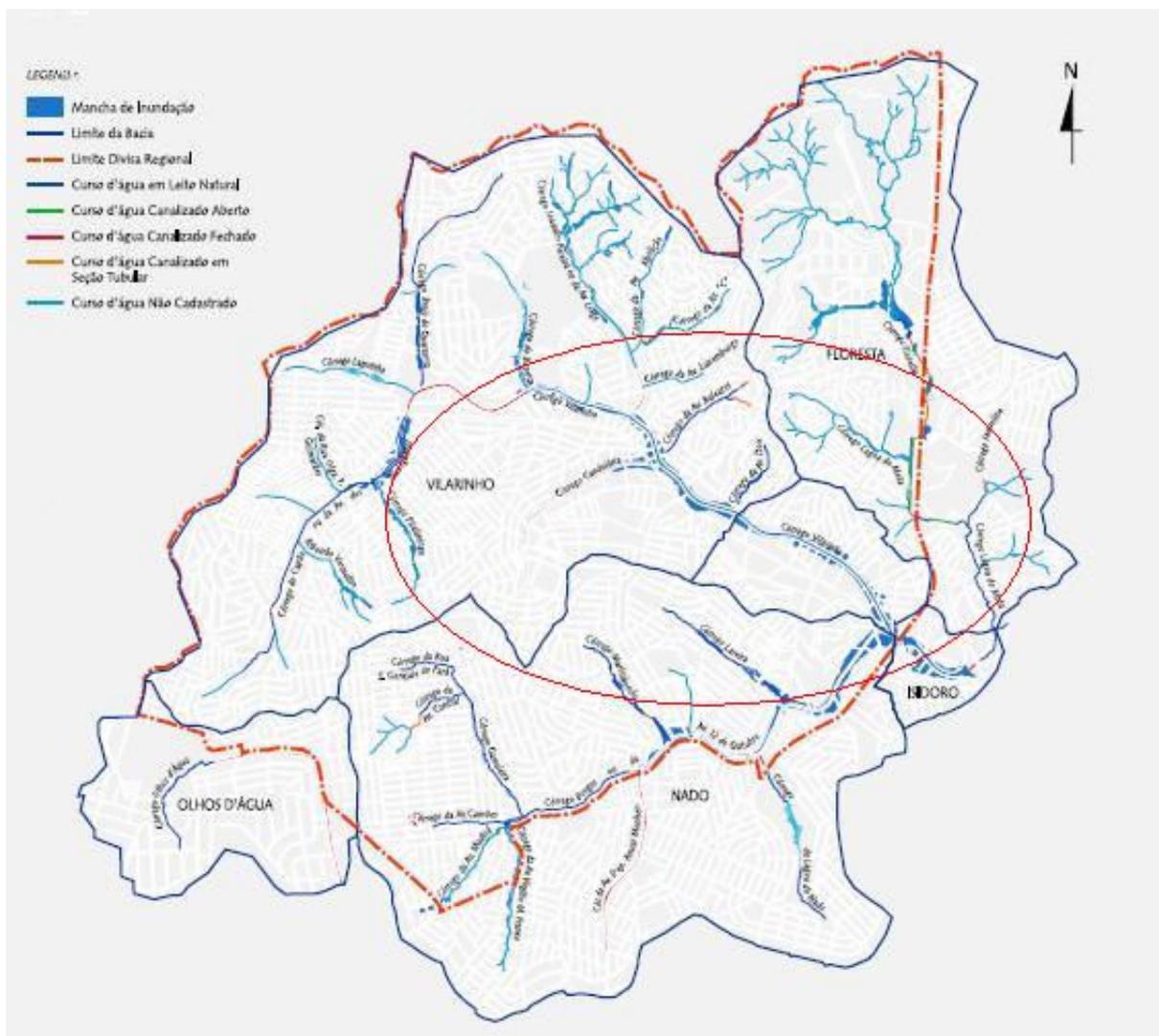


Figura 4.2 - Manchas de inundação na Região de Venda Nova, para chuvas de 25 anos de tempo de retorno (PBH, 2010)

Conforme dados extraídos dos relatórios do estudo de modelagem matemática, hidráulica e hidrológica do Sistema de Macrodrenagem das bacias do Córrego Vilarinho e Córrego 12 de Outubro (PBH, 2008), a Bacia Elementar do Córrego Vilarinho possui uma área de drenagem de 16,021 km². O comprimento do curso d'água principal, o Córrego Vilarinho, é de 5.771 metros. A cota de montante da bacia localiza-se a 873 metros de altitude em relação ao nível do mar, enquanto a cota de jusante está a 750 metros. A Bacia do Vilarinho é composta pelos córregos do Capão (ou córrego da Avenida dos Navegantes), Piratininga, Lagoinha, Brejo do Quaresma, Bezerra, Joaquim Nogueira (ou córrego da Avenida Liege), Baleares, Candelária e Córrego Vilarinho, sendo este o curso d'água principal.

Segundo dados da Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2010 A), a Região de Venda Nova possui uma malha viária de 413 km de extensão de vias. O sistema viário da região desempenha um papel relevante para a rede viária do município, pois conecta dois importantes eixos viários de Belo Horizonte, a Avenida Cristiano Machado e a Avenida D. Pedro I. O Córrego Vilarinho, canalizado em praticamente toda sua extensão é margeado pela Avenida Vilarinho, responsável pela ligação entre a Avenida Cristiano Machado e a Avenida Dom Pedro I, acessos diretos à rodovia MG-030 (Linha Verde), além de ser a principal via de escoamento de tráfego dos bairros da região.

O comportamento do tráfego na região é estudado paralelamente, como o número médio de veículos que transitam pela Avenida Vilarinho no tempo (horas e dias), como também nas principais ruas e avenidas adjacentes. Os dados necessários para este estudo foram obtidos junto à BHTrans. Serão estipulados os bloqueios no trânsito provocados por inundações, e, desta forma, poderá ser avaliada a viabilidade do emprego de rotas alternativas para o escoamento do tráfego nestas condições.

O tráfego da região será modelado inicialmente considerando-se um dia de fluxo normal de veículos. Posteriormente, serão criados cenários de inundações com base em modelos hidráulicos e hidrológicos da região de Venda Nova, contemplada pela Bacia do Córrego do Vilarinho. Estes cenários têm como objetivo simular bloqueios ao tráfego, além de simular os desvios propostos e suas conseqüências. Desta forma, alguns danos ao tráfego, provocados por inundações, poderão ser apontados, como o aumento do consumo de combustível e o aumento do tempo de viagem.

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo de planejamento de transportes para a contingência de inundações nas principais vias da região, com rotas alternativas às vias inundadas ou sob risco de inundação. Também serão estimados alguns prejuízos associados à interrupção e desvio do tráfego e os possíveis ganhos com o alerta antecipado de uma inundação para a execução do plano de contingência.

Os resultados da pesquisa sobre o comportamento hidráulico e hidrológico da região, e o comportamento do tráfego em suas principais ruas e avenidas, compõem a conclusão final sobre sistemas de alertas e planos de emergência para o trânsito em situações de inundação. Após os estudos realizados na Bacia Vilarinho, a pesquisa poderá ser expandida para áreas similares, como outras bacias da região, desde que sejam consideradas suas particularidades.

5 Metodologia

Quando uma área urbana sofre inundação, a perturbação provocada pelo evento quase sempre se reflete na circulação viária. A intensidade da perturbação é diretamente relacionada às características urbanísticas do local. Isto faz com que o uso de metodologias padronizadas não seja satisfatório. Portanto, as características locais da área de inundação devem ser consideradas, como as rotas principais de tráfego, os mapas de inundação e os dados volumétricos sobre o comportamento do tráfego na área em estudo. Essas são informações relevantes para o desenvolvimento de estudos, como a estimativa dos prejuízos causados por inundações sobre o tráfego de veículos e pessoas, como para a concepção de sistemas de gestão do tráfego que contribuam para reduzir tais prejuízos.

A Figura 5.1 mostra o fluxo de modelagem para avaliar as perdas devido à interrupção do tráfego causadas por inundações. As informações sobre inundações necessárias para aplicar esta abordagem são: área diretamente afetada pelo alagamento, distribuição da inundação em profundidade sobre a área inundada, e duração da inundação. Estas informações são resultados da modelagem hidráulica e hidrológica da bacia em estudo e sua rede hidrográfica.

Com os resultados da modelagem hidráulica e hidrológica, é realizada uma avaliação de quais áreas foram propriamente inundadas. Definidas as áreas direta ou indiretamente afetadas, pode-se então fazer o levantamento das vias bloqueadas ou com o tráfego perturbado pelas inundações.

De posse destes dados, é feita então a modelagem das principais vias da área de estudo. Em um primeiro momento, considera-se tráfego normal, para então simulá-lo em situações de inundação. Desta forma, os impactos causados por inundações ao trânsito serão mensurados.

Com posse dos resultados da modelagem de tráfego, é realizado um estudo sobre o emprego de medidas emergenciais, como a implantação de sistemas de alerta. Voltando ao modelo de tráfego, simula-se então a implantação de desvios.

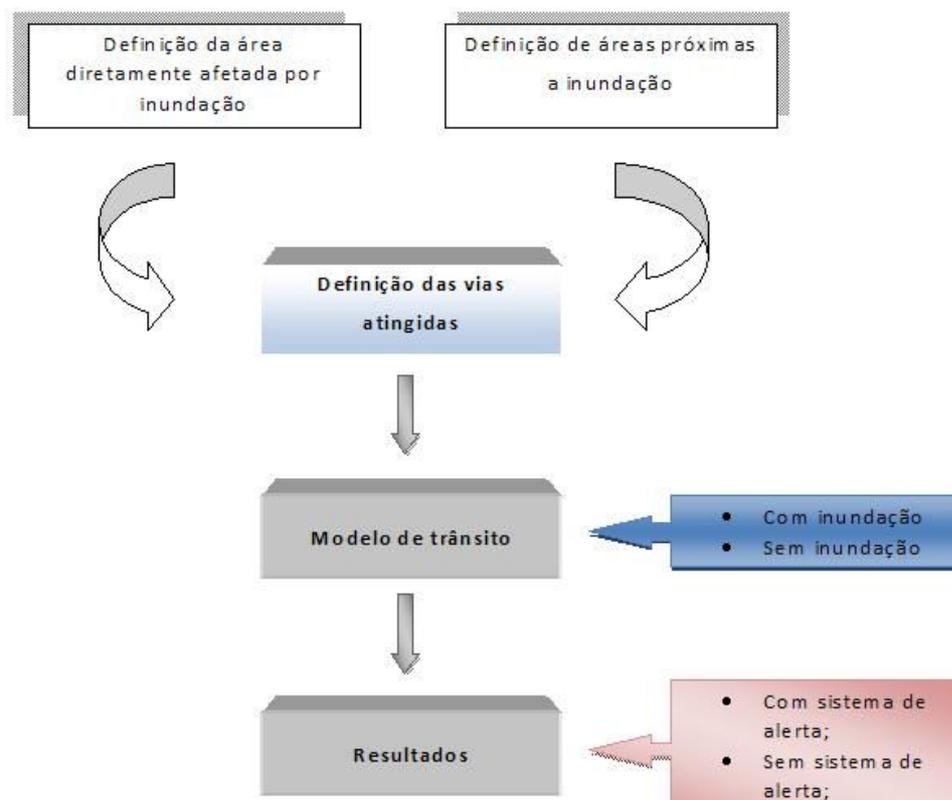


Figura 5.1 – Desenvolvimento do modelo de gestão de trânsito, perante inundações

A modelagem hidráulica e hidrológica exige informações detalhadas sobre a bacia hidrográfica. Dados de topografia, tipos de solo, cobertura vegetal e de infra-estrutura de drenagem são necessários. Outras informações sobre o clima local, bem como a tipologia das chuvas comuns à região e o histórico daquelas que vieram a provocar inundações, são de importância significativa para o processo de modelagem.

Com as informações produzidas pela modelagem hidráulica e hidrológica é então possível aplicar o modelo de trânsito para avaliar perdas econômicas devido à interrupção do tráfego por inundações. A Figura 5.2 resume os principais passos deste processo de modelagem. Tendo definido as principais vias de tráfego da região, assim como os principais cruzamentos, são inseridos os dados de tráfego. Leva-se em consideração o fluxo diário de veículos nestas vias, o sentido do fluxo respeitando todas as conversões e a sinalização existente na área. Em seguida, inserem-se os bloqueios nas vias atingidas por inundação e verificam-se as conseqüências destes para com o tráfego.

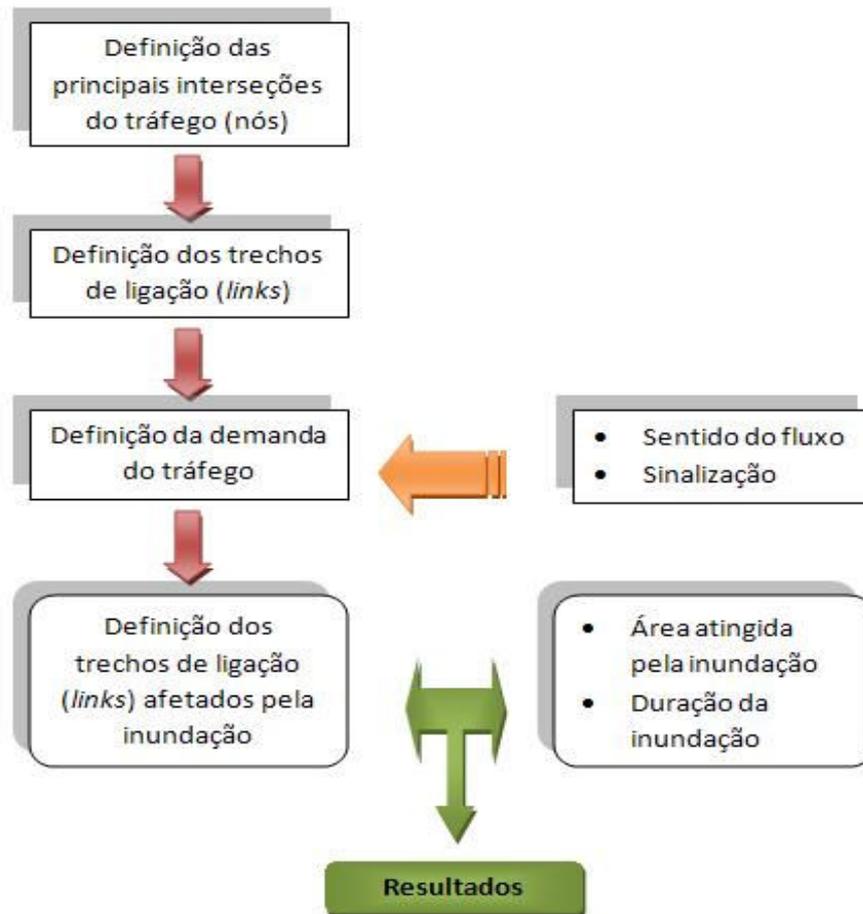


Figura 5.2 – Detalhamento da modelagem de tráfego

5.1 Modelagem hidráulica e hidrológica

A modelagem hidráulica e hidrológica da bacia é realizada nesta pesquisa com o auxílio do programa computacional livre *Storm Water Management Model* (SWMM), disponibilizado pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA). Na modelagem hidrológica, foram utilizados dados de eventos sintéticos de precipitação, de eventos históricos observados na região e dados obtidos de modelos anteriores, como os fornecidos pela Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos (COBRAPE). Quanto à modelagem hidráulica, as características dos canais como geometria das seções, declividade e confluências foram obtidas junto à PBH.

A modelagem hidráulica e hidrológica realizada pelo SWMM seguiu a proposta metodológica apresentada a seguir:

- Foram inseridas no programa as características hidrológicas das sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho, como área da sub-bacia e sua taxa de impermeabilização. Estes dados foram coletados junto à PBH (2008), através dos estudos realizados pela COBRAPE para a definição dos mapas de inundação da cidade;
- Entrada de dados hidráulicos, como comprimento dos canais, suas seções, mudança de seção, declividade e rugosidade de cada trecho. A maioria dos dados foi obtida junto a PBH;
- Foi inserido o evento sintético de precipitação, calculado por Pinheiro e Naghettini (1998), que representa uma chuva de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração. Este evento serviu para validar os resultados da modelagem, uma vez que um estudo com estas características já havia sido realizado pela COBRAPE, utilizando outro programa computacional;
- Foram então inseridas outras chuvas sintéticas, de tempo de retorno variando entre 5, 10, 25, 50 e 100 anos e duração variando entre 30, 60, 90 minutos, 2 horas e 10 horas de duração. Não foram inseridos ao modelo eventos sintéticos distintos destes citados. Em testes realizados no modelo, chuvas inferiores a 30 minutos e superiores a 10 horas não causaram inundação para os tempos de retorno citados;
- Por fim, foram modelados eventos históricos escolhidos após análise de risco quando comparados aos eventos sintéticos já mencionados. Deu-se preferência para aqueles eventos que ocorreram em horários de maior tráfego, para uma posterior análise dos impactos das inundações ao tráfego.

Como resultados desta modelagem, foram obtidas as cotas máximas e a duração da inundação, para cada evento supracitado, que eram os principais objetivos na criação de cenários de inundação. Outros resultados como a velocidade do escoamento e a vazão nos canais, em cada evento de inundação, também puderam ser apreciados.

A Figura 5.3 e a Figura 5.4 ilustram manchas de inundações em pontos distintos da Bacia do Córrego Vilarinho, obtidas pela modelagem realizada pela COBRAPE, a pedido da PBH para a região de Venda Nova. Estas manchas de inundação referem-se às precipitações de tempo de retorno de 25 anos e de duração de 90 (noventa) minutos que, conforme já mencionado, foram utilizadas para comparação com os resultados do modelo SWMM.

das vazões de pico características destas bacias, através da análise de frequência tradicional. Há uma maior quantidade de dados pluviométricos, com composição de séries históricas.

Pinheiro e Naghettini (1998) desenvolveram uma metodologia para a análise regional de precipitações intensas e a aplicaram na definição de uma curva do tipo IDF (Intensidade – Duração – Frequência) para a RMBH. A equação resultante da curva do tipo IDF para a RMBH possui a seguinte formulação:

$$\hat{I}_{T,d,j} = 0,76542 d^{-0.7059} P_j^{0,5360} \mu_{T,d}$$

Pinheiro e Naghettini (1998) explicam que esta equação é válida para eventos com tempo de retorno igual ou inferior a 200 anos ($T \leq 200$) e com duração entre 10 minutos e 24 horas ($10 \text{ minutos} \leq d \leq 24 \text{ horas}$), sendo que:

- $\hat{I}_{T,d,j}$ = intensidade da precipitação média de duração d , do local j , associada ao tempo de retorno T (mm/h ou mm/min);
- d = duração da precipitação (h ou min, de acordo com as unidades de intensidade);
- P_j = precipitação total anual média do local j (mm);
- $\mu_{T,d}$ = quantil adimensional regional.

A precipitação total anual média do local (P_j) foi extraída do mapa isoietal mostrado na Figura 9.1, apresentado no Anexo I desta dissertação, enquanto o quantil adimensional regional ($\mu_{T,d}$) foi obtido através da Tabela 9.1, apresentado no Anexo II.

A aplicação desta equação resultou nas tabelas de eventos sintéticos de precipitação para a RMBH, utilizadas na modelagem desenvolvida nesta pesquisa. Foram utilizados eventos sintéticos, de tempo de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. No modelo, a duração das chuvas varia entre 30 minutos e 24 horas.

A distribuição temporal das precipitações foi estimada com base em hietogramas adimensionais igualmente propostos por Pinheiro e Naghettini (1998) para a RMBH. No presente estudo, adotaram-se os hietogramas adimensionais com probabilidade de excedência

de 50% para os eventos de distintas durações. Esta escolha é arbitrária, não havendo critério que oriente com segurança a escolha entre tais hietogramas.

Considerando-se como duração do evento crítica, $d = 1,5h$, a variação da taxa de precipitação é mostrada na Tabela 5.1. As tabelas com distribuição temporal de precipitação distintas utilizadas na modelagem encontram-se no Anexo III.

Tabela 5.1- Cálculo de distribuição temporal de precipitação de 90 minutos de duração

Tempo acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)
00:00	0		0		0	
00:10	7	7,175	8	8,311	10	10,204
00:20	16	9,086	19	10,524	23	12,921
00:30	26	9,944	30	11,518	37	14,141
00:40	33	6,512	38	7,543	47	9,261
00:50	37	4,095	43	4,743	52	5,823
01:00	39	2,496	46	2,891	56	3,549
01:10	41	1,794	48	2,078	58	2,551
01:20	42	0,624	48	0,723	59	0,887
01:30	42	0,741	49	0,858	60	1,054
TOTAL		42,467		49,189		60,392

Tempo acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação acumulada (mm)	Precipitação (mm)
00:00	0		0		0	
00:10	12	11,614	13	12,864	14	13,986
00:20	26	14,708	29	16,291	32	17,711
00:30	42	16,096	47	17,829	51	19,383
00:40	53	10,541	59	11,676	64	12,694
00:50	60	6,628	66	7,341	72	7,981
01:00	64	4,040	70	4,475	77	4,865
01:10	66	2,904	74	3,216	80	3,497
01:20	68	1,010	75	1,118	81	1,216
01:30	68,741	1,200	76	1,329	83	1,444
TOTAL		68,741		76,139		82,777

5.1.2 Séries históricas de precipitação

Conforme mencionado, as simulações de eventos sintéticos de precipitação foram utilizadas para caracterizar o comportamento da bacia hidrográfica face a eventos de diferentes características bem como fornecer informações importantes para a seleção de eventos históricos de precipitação a serem, igualmente, simulados. Os eventos históricos de precipitação foram obtidos pela estação pluviométrica Usina de Gás, localizada no município vizinho de Contagem (código 01944065). A estação Usina de Gás é a mais próxima à área de estudo com disponibilidade de dados pluviográficos e série com extensão superior a 10 anos. A série de dados é compreendida entre o período de 1984 a 2009, período em que foram registradas algumas inundações significativas na área em estudo. Apenas as chuvas históricas consideradas potencialmente perigosas, passíveis de causar inundações, foram modeladas. A escolha destas chuvas é explicada posteriormente. Desta forma foi possível verificar o comportamento hidráulico e hidrológico da Bacia do Vilarinho, em um estudo que trabalhou eventos sintéticos e eventos históricos de precipitação. Deve-se ressaltar que não se coloca nesse estudo o objetivo de reproduzir eventos históricos de inundação tal como ocorreram. Em todas as simulações, considerou-se a ocupação urbana atual da bacia, que se encontra bastante adensada. O propósito da simulação de eventos históricos é, sobretudo, considerar os impactos que tais eventos poderiam produzir sobre a bacia, e, em particular, sobre o sistema viário atual, caso vissem a se reproduzir.

A análise dos dados pluviométricos da Estação Usina de Gás mostra que durante a década de 90 foi registrado um número maior de eventos críticos quando comparado ao número de eventos relativos ao período entre o ano 2000 e o ano 2009. A Tabela 5.2 refere-se ao ano de 1994. Neste ano, algumas chuvas intensas ocorreram na região. Tais chuvas são mostradas em destaque na Tabela. O histórico completo de chuvas de 1994 anotado pela estação Usina de Gás é mostrado no Anexo IV.

Os dados fornecidos por esta estação meteorológica são registrados de hora em hora, o que aumenta o erro gerado pela modelagem. O modelo SWMM foi calibrado para inserção de dados com defasagem temporal de 10 minutos. Isto significa que, ao inserir um único dado, relativo a uma chuva de 60 minutos de duração, o modelo irá interpolar este valor gerando seis novas entradas. A soma destas entradas, ou seja, a chuva acumulada no período é igual à chuva fornecida pela estação de medição.

Tabela 5.2 - Chuvas históricas de 1994 - Estação de medição Usina de Gás

Mês	Dia	Intervalo	Precipitação acumulada no intervalo (mm)	Total no dia (mm)	
Janeiro	2	12h – 13h	15,1	29,9	
		13h – 14h	14,8		
	13	18h – 19h	56,2	57,8	
		19h – 20h	1,6		
27	27	5h – 6h	4,0	22,2	
		6h – 7h	16,5		
		7h – 8h	1,7		
Fevereiro	14	20h – 21h	17,8	56,8	
		21h – 22h	14,0		
		22h – 23h	24,0		
		23h – 24h	1,0		
Março	2	14h – 15h	24,2	27,6	
		15h – 16h	3,4		
	12	22h – 23h	43,7	84,6	
		23h – 24h	40,9		
	14	14	18h – 19h	10,5	51,7
			19h – 20h	41,2	
	20	20	11h – 12h	13,1	36,3
			12h – 13h	23,2	
24	24	15h – 16h	13,0	41,0	
		16h – 17h	18,2		
		17h – 18h	5,2		
		18h – 19h	4,6		
Abril	19	15h – 16h	27,5	33,5	
		16h – 17h	4,4		
		17h – 18h	1,6		
Dezembro	25	7h – 8h	27,9	49,0	
		8h – 9h	17,9		
		9h – 10h	3,2		

Para a modelagem dos eventos históricos, com o objetivo de se criar cenários distintos de inundação, foram escolhidos alguns eventos críticos, em horários críticos. A escolha destes eventos foi baseada nos resultados da modelagem dos eventos sintéticos. Já a escolha dos horários críticos foi baseada na análise de dados de fluxo de veículos das principais vias.

Tomando o ano de 1994 como exemplo, a precipitação do dia 13 de janeiro foi modelada no SWMM, por atender estes requisitos (Tabela 5.2).

5.1.3 Dados morfológicos e cadastrais para a modelagem

A Bacia do Vilarinho é composta por sub-bacias referentes aos córregos afluentes do Córrego Vilarinho. A sua divisão em sub-bacias e suas respectivas áreas de drenagem são mostradas na Figura 5.5 (PBH, 2008). As características morfológicas destas sub-bacias estão apresentadas na Tabela 5.3.

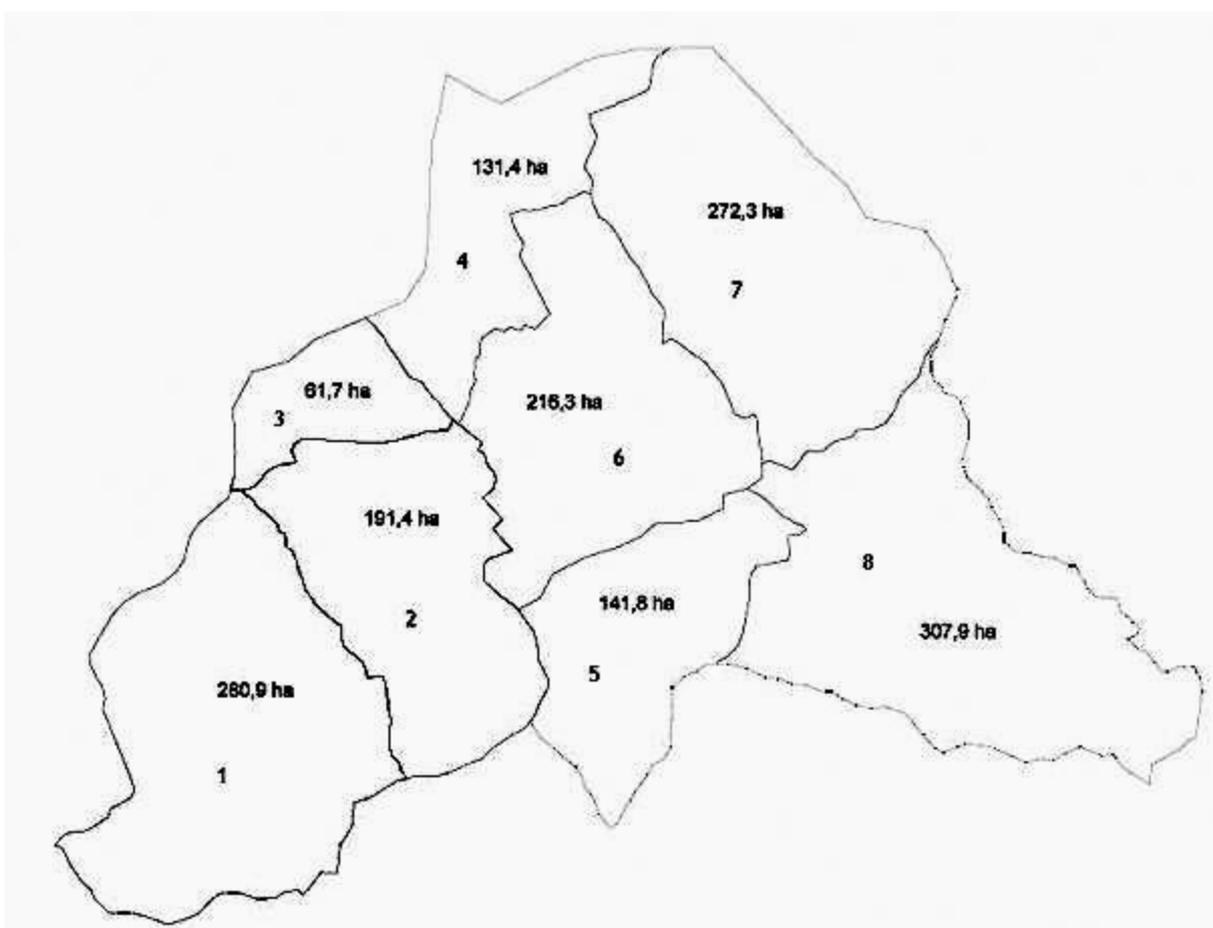


Figura 5.5 - Sub-bacias componentes da Bacia do Vilarinho (Adaptado de PBH, 2008)

Tabela 5.3 - Divisão da Bacia do Vilarinho em pequenas sub-bacias (Adaptado de PBH, 2008)

Sub-bacias	Área de drenagem (ha)	Composição – principais córregos	Tipo de canal predominante
1	280,9	Córrego do Capão (Córrego da Avenida Navegantes) e Córrego Ribeirão Vermelho	Natural
2	191,4	Córrego do Capão (Córrego da Avenida Navegantes) e Córrego Piratininga	Natural
3	61,7	Córrego Lagoinha	Natural
4	131,4	Córrego Brejo do Quaresma	Natural
5	141,8	Córrego Candelária	Canalizado fechado
6	216,3	Córregos Vilarinho, do Capão, Lagoinha, Brejo do Quaresma e Bezerra	Canalizado fechado
7	272,3	Córrego Joaquim Pereira (Córrego da Avenida Liege) e Córrego Baleares	Parcialmente canalizado
8	307,9	Córrego Vilarinho	Canalizado fechado

Para o Modelo SWMM, as sub-bacias foram divididas de modo que as variações das características físicas dos canais, como mudanças de seção e mudanças de declividade, fossem contempladas. Desta forma, há uma aproximação do modelo à realidade, diminuindo-se os erros intrínsecos à interpolação dos dados. A configuração hidrográfica final do modelo é mostrada pela Figura 5.6. Para esta modelagem, foram utilizados dados fornecidos pela COBRAPE e pela PBH. No Anexo V, as características destas sub-bacias são descritas.



Figura 5.6 - Divisão das sub-bacias no Modelo SWMM

As seções dos trechos canalizados inseridos no modelo SWMM foram obtidas junto à Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2010 B). Para os trechos naturais, devido à grande variação de suas seções durante o percurso dos córregos, foram escolhidas aquelas seções que melhor descreviam suas características. Como orientação desta escolha, fotografias da região e algumas visitas de campo se fizeram necessárias. Na Figura 5.7 é mostrado um trecho do Córrego do Capão e a seção característica que mais se adequou a este trecho.

As seções dos canais naturais são irregulares e variáveis durante o percurso do córrego, conforme explicado anteriormente. Porém, como os trechos naturais não possuem vias de tráfego importantes ao estudo, a aproximação é aceitável, uma vez que o comportamento hidráulico e hidrológico destes canais tem uma importância menor para a pesquisa.



SEÇÃO: S38

COORDENADAS:
 X=604.917,00
 Y=7.808.858,00
 Z=780,94

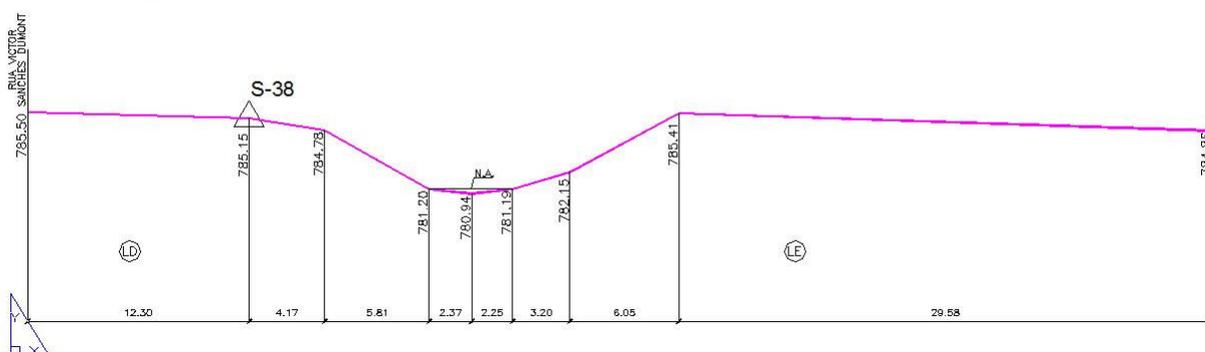


Figura 5.7 - Perfil de seção natural obtido por análise de imagem - Córrego Navegantes
 (Adaptado de PBH, 2010 A)

Para os trechos canalizados, as seções possuem cadastro junto à Prefeitura de Belo Horizonte (PBH, 2010 B). Desta forma, além de terem o perfil previamente conhecido, outras informações como declividade e os pontos exatos de mudança de seção foram estabelecidos com uma maior exatidão. A PBH possui o cadastro completo de todos os trechos canalizados. Para ilustrar tais informações, um trecho cadastrado do Córrego Vilarinho é apresentado na Figura 5.8.

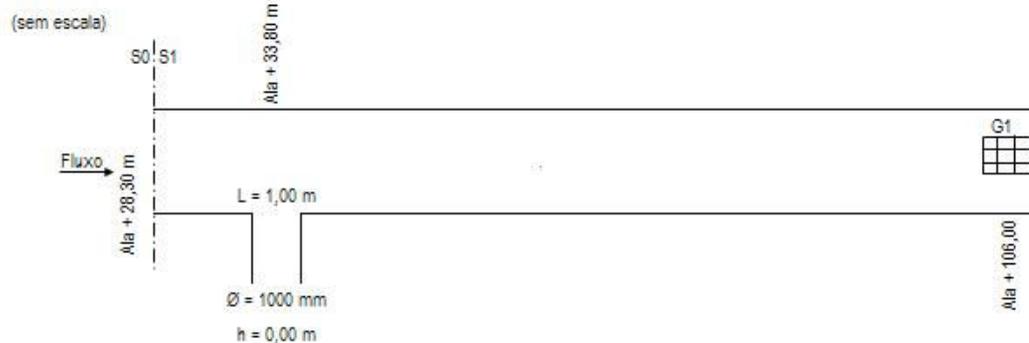
FOLHA: 02 / 67	LEVANTAMENTO CADASTRAL - MACRODRENAGEM	REGIONAL(IS): Venda Nova
-------------------	---	-----------------------------

GEOMETRIA DO CANAL REVESTIDO FECHADO

LOCALIZAÇÃO Av. Vilarinho próximo à R. Padre Pedro Pinto		CÓDIGO(S) DO(S) LOGRADOURO(S): 109988 / 51657
BAIRRO: São Paulo	BACIA: Ribeirão da Onça	CÓDIGO DA BACIA: 4140100
CURSO D'ÁGUA: Córrego Vilarinho	EXTENSÃO: 78,00 m	
CÓDIGO DE CAMPO: D.P.1E	DATA DE CADASTRO: 13/1/2000	MAPAS: 4864

<p style="text-align: center;">MEDIDAS (m)</p> <p style="text-align: center;"><u>COORDENADAS DOS ACESSOS EXTERNOS</u></p> <p>A = 4,30</p> <p>B = 2,50</p> <p>C = ____</p> <p>D = ____</p> <p>H = 0,10</p> <p style="text-align: center;">G1</p> <p>X = 605872</p> <p>Y = 7810100</p> <p>Z tampa = 774,3</p> <p>Z fundo = 770,2</p> <p>H = altura do assoreamento</p>	<p style="text-align: center;">TIPO DE SEÇÃO: 1</p>
--	--

PLANTA



PERFIL LONGITUDINAL

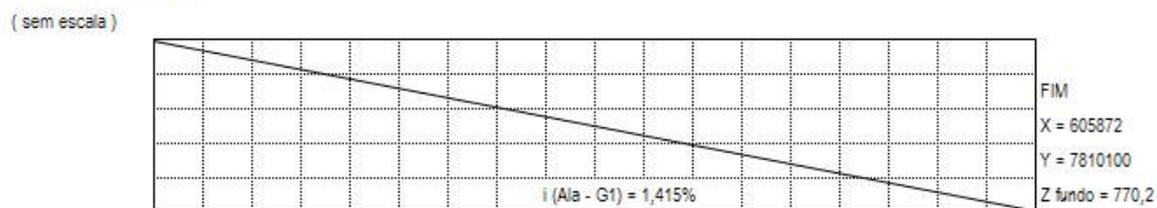


Figura 5.8 - Seção de trecho canalizado - Córrego Vilarinho (PBH, 2010 B)

Restam inserir os dados das chuvas que serão modeladas. Primeiramente, foram inseridos os dados relativos aos eventos sintéticos de precipitação, ou precipitações de projeto.

Para os eventos históricos, além do índice pluviométrico fornecido pela estação Usina de Gás, descrito no Item 5.1.2, foi realizado um estudo de eventos históricos de inundação para a Região de Venda Nova. Este estudo é importante para que sejam conhecidos os locais onde já ocorreram inundações, assim como a frequência de inundações para a região. Foi utilizada uma base de dados históricos obtidos junto à Superintendência de Desenvolvimento da Capital – SUDECAP. Estes dados foram coletados durante 69 anos. Eles datam de março de 1928 a janeiro de 1983, em seguida entre fevereiro de 1990 e junho de 2000, sendo a última ocorrência de inundação catalogada nesta base de dados data de 18 de fevereiro de 2000. A data de 07 de março de 1928 é identificada no relatório de inundação da SUDECAP como construção do primeiro canal e a primeira inundação relatada em janeiro de 1932. Para este estudo, os dados mais recentes são de maior interesse.

Os dados apresentados na Tabela 5.4 referem-se às inundações ocorridas na Bacia do Córrego Vilarinho, em Belo Horizonte, entre os anos de 1980 e 2000. A Bacia do Vilarinho possui o código 4140100. O histórico de inundações da Bacia do Vilarinho mostra que nesta bacia foram registradas 20 inundações entre 1980 e 2000. Em 1989 foram registradas cinco ocorrências de inundação. Ressalta-se que o registro de uma inundação não significa que apenas um local na região foi inundado. O cruzamento destes dados com o histórico pluviométrico da Estação Usina de Gás permite avaliar quais as precipitações mais prováveis de causar uma inundação, em um determinado ano. Para exemplificar este procedimento, no ano de 1994 foram registradas duas inundações na Bacia do Vilarinho (Tabela 5.4). Ao analisar os dados de precipitação deste ano (Tabela 5.2), conclui-se que as chuvas referentes aos dias 13 de janeiro e 12 de março foram as possíveis causadoras destes eventos.

Tabela 5.4 - Eventos históricos de inundação nas bacias elementares da Região Metropolitana de Belo Horizonte - Bacia do Vilarinho: 4140100 (PBH, 2010 B)

Inundações na Bacia do Córrego Vilarinho, entre 1980 e 2000	
Ano	Número de ocorrências de inundações
1980	0
1981	0
1982	1
1983	2
1984	0
1985	0
1986	0
1987	0
1988	0
1989	0
1990	0
1991	1
1992	1
1993	2
1994	2
1995	0
1996	3
1997	1
1998	5
1999	1
2000	1
Total de inundações registradas na Bacia do Vilarinho no período	20

A Figura 5.9 mostra os pontos onde normalmente ocorrem inundações na Região de Venda Nova. É possível notar que o Córrego Vilarinho é o mais problemático. Este córrego possui vários pontos vulneráveis a inundações. Também é margeando o córrego que passa a principal rota de tráfego da região, a Avenida Vilarinho. Os pontos na Figura indicam os locais onde já foi reportada pelo menos uma inundação, entre os anos de 1980 e 2000.

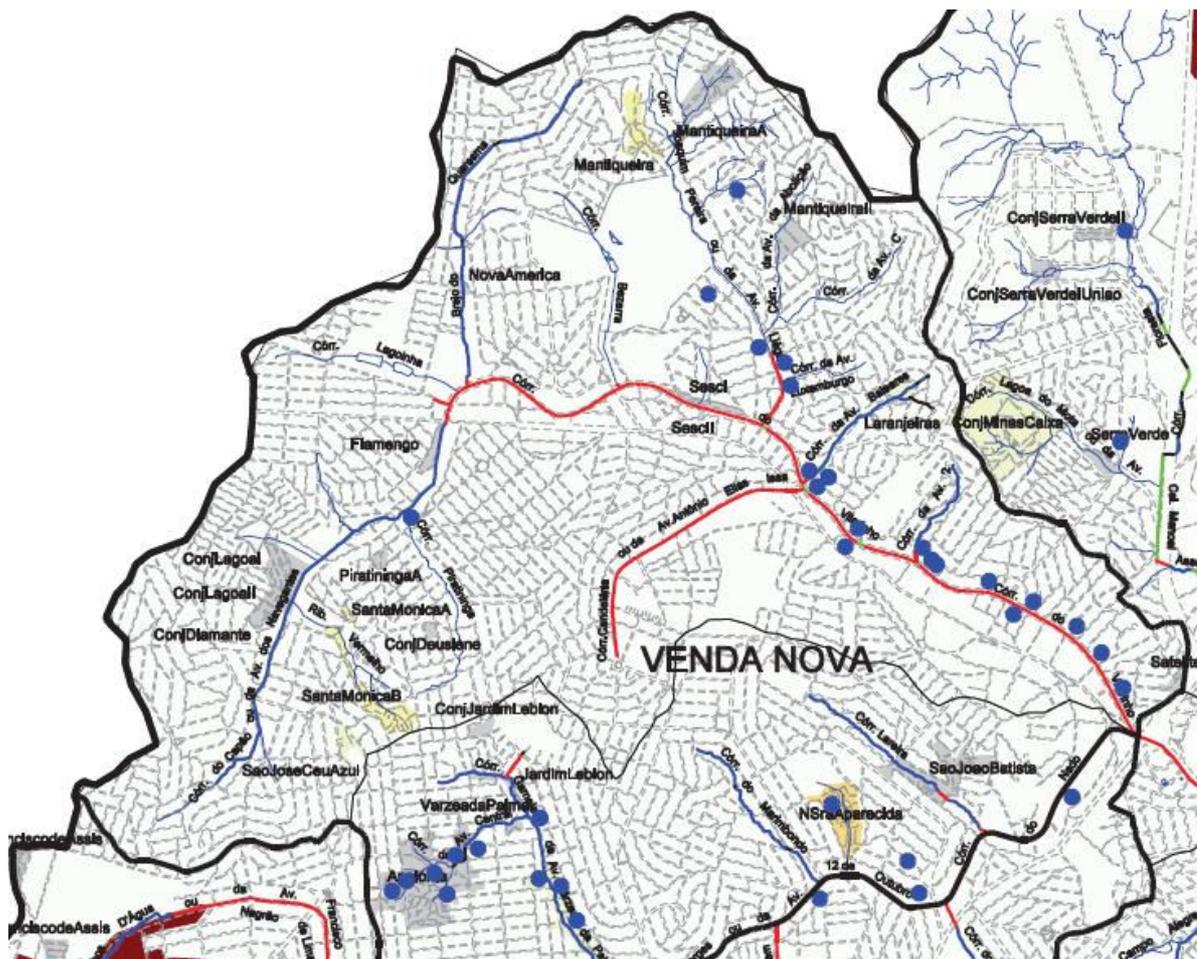


Figura 5.9 – Registro histórico de inundações na Região de Venda Nova, entre os anos de 1980 e 2000 (PBH, 2010 A)

5.2 Modelagem de tráfego

A modelagem de tráfego procura reproduzir o comportamento do fluxo de veículos nas regiões afetadas por inundações de vários níveis, assim como a mudança de comportamento do tráfego nas regiões vizinhas. O procedimento básico para a criação de um modelo de tráfego requer a construção de um diagrama contendo a rede viária. O modelo trata o número de vias de ligação, o número de cruzamentos, o comprimento das vias e a distinção das mesmas por classificação viária, considerando o tipo de calçamento, o número de faixas, o número de veículos que transitam por hora e a velocidade média das vias. A partir destas informações, simulam-se os desvios necessários considerando-se a ocorrência de inundações (PARKER *et al.*, 1987). Outra informação de interesse é a localização e ciclo do grupo semafórico da área. Algumas destas informações são disponibilizadas por órgãos de gestão municipal ou regional de tráfego que normalmente realizam pesquisas sobre estes temas. Esse

é o caso de Belo Horizonte, onde o planejamento e a gestão de tráfego são realizados pela BHTRANS. Esta empresa possui uma base de dados detalhada sobre o tráfego, cobrindo a área municipal urbana, com séries temporais de fluxo de veículos e outras informações relevantes para a modelagem de tráfego.

Estes dados ajudam a identificar períodos críticos de fluxo de veículos ao longo do tempo. Desta forma pode-se observar a influência de veículos pesados, como ônibus e caminhões, além da variação temporal do fluxo de veículos. A duração do período de amostragem depende do tipo de contagem adotada e da finalidade da pesquisa.

Para a elaboração do modelo foram consideradas as principais vias de tráfego da região. Fez-se o estudo do fluxo diário de veículos para estas vias, através da pesquisa de contagem volumétrica de veículos, obtida junto à BHTRANS. Além de dados das vias principais, dados sobre as possíveis rotas alternativas de desvio de tráfego fizeram-se necessários. A contagem volumétrica de veículos pode ser feita por cruzamentos ou por trechos. A escolha dos cruzamentos importantes para a pesquisa considerou os seguintes fatores:

- A importância da via para o escoamento do tráfego em um dia normal, isto é, sem a ocorrência de inundação;
- A importância da via, no caso das vias principais estarem bloqueadas;
- A relevância da via para o fluxo de veículos, quando tratado o fator origem-destino, podendo este ser centro-bairro, ou bairro-centro.

A pesquisa de contagem volumétrica de veículos, realizada pela BHTRANS entre 2000 e 2009, visa quantificar o número de veículos, direção e composição do fluxo de veículos que utilizam uma seção ou interseção do sistema viário, em determinada unidade de tempo. É registrado o número de veículos, por categoria, que passam por uma determinada seção, a cada quinze minutos, para cada trecho pesquisado. O resultado final aparece em variação horária. Nota-se que foi utilizada a Unidade de Veículo Padrão (UVP) como forma de uniformizar a informação. A UVP é um índice de equivalência ao veículo de passeio, a saber:

- Automóvel = 1,0 UVP;
- Ônibus = 2,25 UVP;
- Caminhão = 2,0 UVP;
- Motocicleta = 0,5 UVP.

Os dados disponíveis de fluxo de veículos geraram tabelas de fluxo, como é exemplificado através da Tabela 5.5, referente a dados do ano 2000. Há uma defasagem temporal nos dados em relação à data em que foi realizada a coleta pela BHTrans. Essa defasagem representa uma diferença de até oito anos entre a coleta de dados de um cruzamento em relação a outro. Para ser exato, cruzamentos com dados mais antigos datam do ano 2000, os dados mais recentes datam do ano 2008. Este período coincide com uma mudança da taxa de crescimento da frota de veículos da capital.

Tabela 5.5 - Contagem volumétrica de veículos - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere (Adaptado de BHTrans, 2000)

Horário		Movimento 4/1 – Av. Vilarinho (Ribeirão das Neves) / Rua M. Falconiere (Jardim dos Comercários)				Movimento 4/2 – Av. Vilarinho (Ribeirão das Neves) / Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado)			
Início	Fim	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP
06:00	07:00	4	0	0	4,00	370	56	25	546,00
07:00	08:00	17	0	2	21,00	467	30	41	616,50
08:00	09:00	10	0	1	12,00	228	15	37	335,75
09:00	10:00	17	0	1	19,00	265	21	35	382,25
10:00	11:00	24	0	2	28,00	272	9	32	356,25
11:00	12:00	17	0	2	21,00	280	13	36	381,25
12:00	13:00	13	2	4	25,00	297	16	31	395,00
13:00	14:00	10	0	1	12,00	299	12	43	412,00
14:00	15:00	15	0	0	15,00	324	18	47	458,50
15:00	16:00	14	1	1	18,25	261	22	40	390,50
16:00	17:00	14	0	2	18,00	293	35	57	485,75
17:00	18:00	30	0	0	30,00	384	31	35	523,75
18:00	19:00	26	3	0	32,75	340	22	40	469,50
19:00	20:00	23	0	0	23,00	286	24	20	380,00
20:00	21:00	36	1	0	38,25	263	21	17	344,25
21:00	22:00	14	0	0	14,00	212	13	13	267,25

Devido à defasagem temporal dos dados de fluxo de veículo coletados, foi realizada uma análise dos possíveis erros intrínsecos nos valores coletados do fluxo de veículos. Foram avaliados os fluxos de origem nos bairros, com sentido ao centro da cidade, como também o fluxo no sentido contrário, proveniente do centro da cidade, com destino aos bairros da Região de Venda Nova. Aqueles cruzamentos que apresentaram mudanças no sentido do tráfego,

como também aqueles que apresentaram a totalização da contagem volumétrica duvidosa ou discrepante em relação às demais, foram excluídos do modelo de tráfego.

Segundo a FENABRAVE (2010), o total de carros, motos, ônibus e caminhões em Belo Horizonte saltou de 679 mil unidades, em 2000, para 1,2 milhão, em 2009. São 540 mil veículos a mais circulando nas ruas. Devido à escassez de dados recentes sobre o comportamento do trânsito em muitos dos cruzamentos pesquisados, fez-se necessário ajustar os dados mais antigos para a realidade dos dias atuais. Apenas um dos cruzamentos pesquisados, o da Avenida Vilarinho com a Rua Maçon Ribeiro, possuía dados relativos ao ano 2000 e ao ano 2008. A contagem volumétrica de veículos foi equalizada temporalmente, segundo dados de crescimento da frota de veículos de Belo Horizonte no período, obtidos junto ao Departamento Nacional de Trânsito, DENATRAN. O crescimento da frota apresentado pelo DENATRAN coincidiu com a variação da contagem volumétrica de veículos apresentada no cruzamento citado anteriormente. A Figura 5.10 ilustra o crescimento da frota de veículos de Belo Horizonte neste período. Os dados corrigidos também estão ilustrados no Anexo VI.

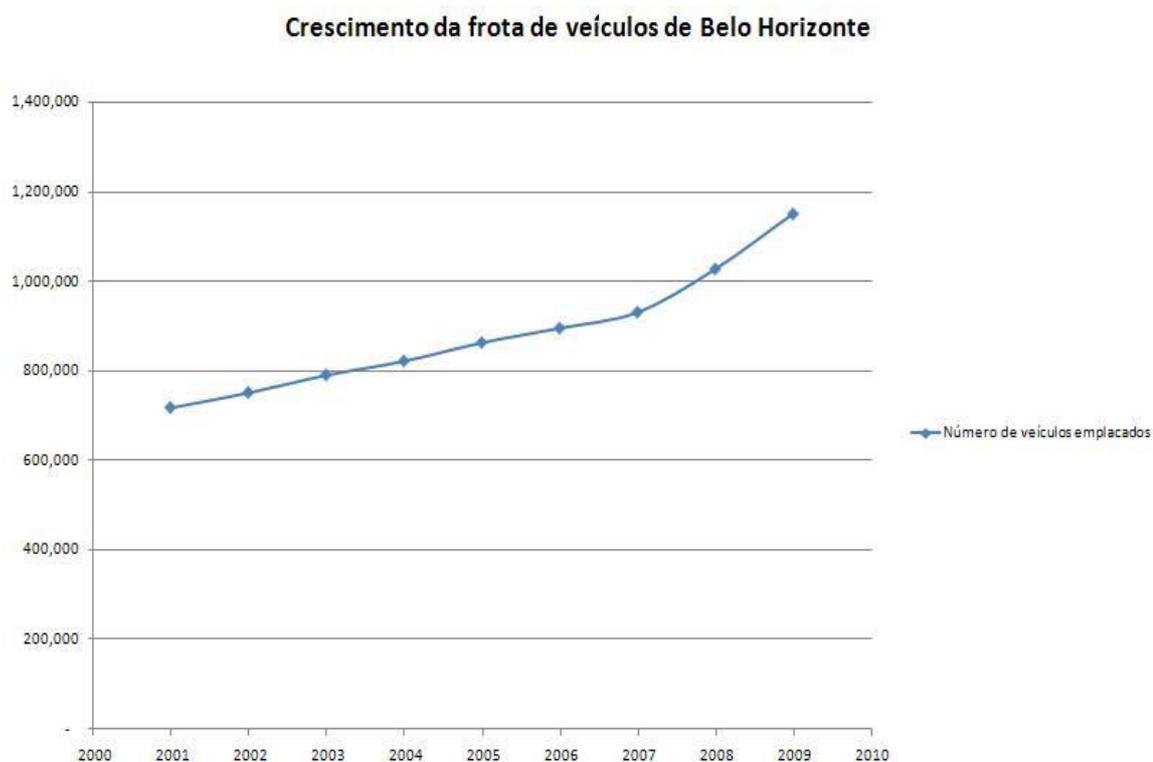


Figura 5.10 - Variação da frota de veículos de Belo Horizonte (Adaptado de DENATRAN, 2010)

Foram utilizados na modelagem dados de fluxo de doze cruzamentos da Rua Padre Pedro Pinto e de sete cruzamentos da Avenida Vilarinho. Para cada cruzamento é possível haver até oito movimentos distintos. Através destas tabelas é possível avaliar o comportamento do tráfego para uma determinada rota. A Figura 5.11 mostra o comportamento do trânsito na Avenida Vilarinho, sentido Bairro – Centro, conforme enumerado na Tabela 5.5. É evidente o volume maior de tráfego na parte da manhã, o que retrata o comportamento do trânsito da região, que flui para o centro da cidade durante a manhã.

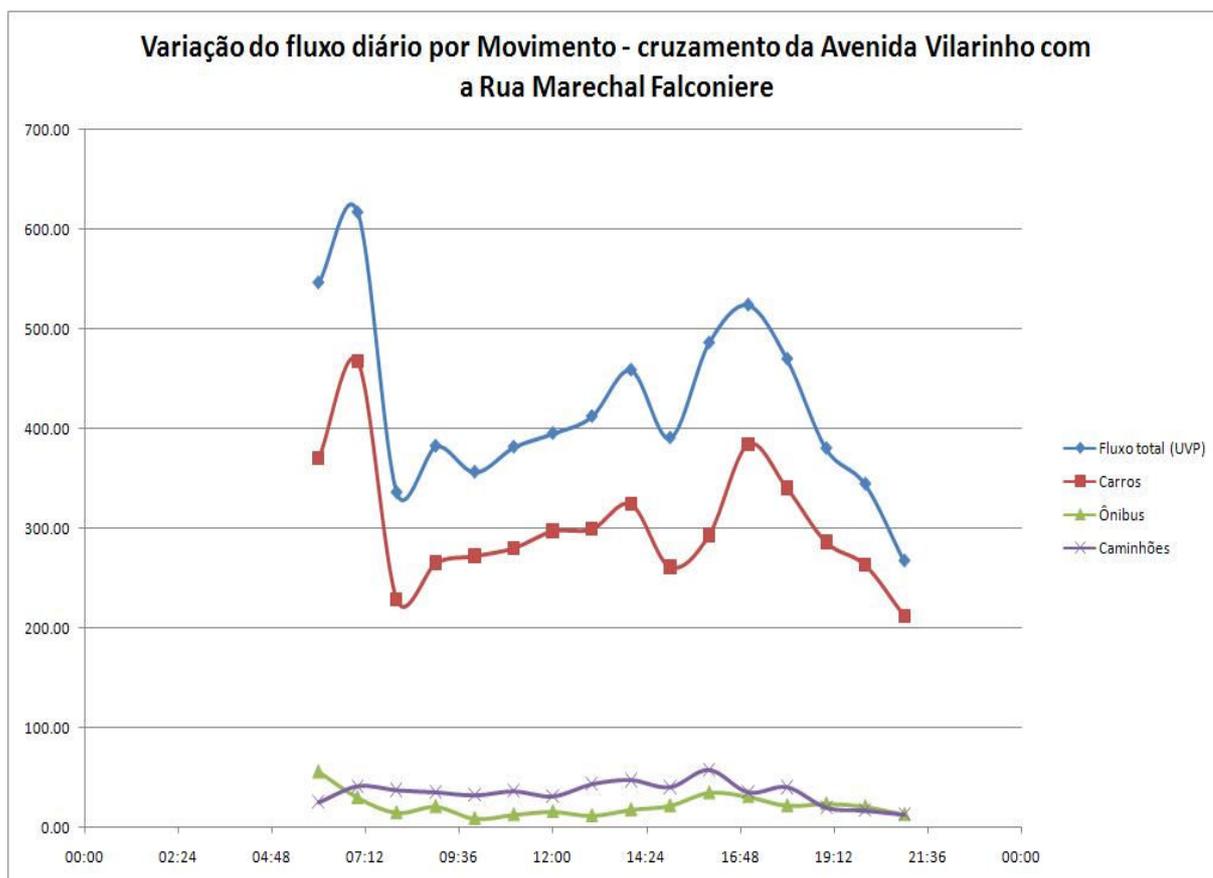


Figura 5.11 - Gráfico da variação do fluxo de veículos durante o dia

Os cruzamentos relevantes à modelagem, que não possuem dados recentes sobre o volume de veículos que por eles transitam diariamente, tiveram corrigidos os dados da contagem volumétrica de veículos, conforme a taxa apresentada na Tabela 5.6. Como exemplo, o cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Luiza Salomão, que possui dados datados do ano 2001, teve a contagem volumétrica de veículos corrigida em 60%, para qualquer horário. Desta forma, o volume de veículos que transitava neste cruzamento em 2001 foi corrigido para o ano de 2009.

Tabela 5.6 - Percentual de crescimento da frota de veículos de Belo Horizonte (Adaptado de DENATRAN, 2010)

Ano	Frota de veículos de Belo Horizonte	Taxa de correção para o ano 2009
2001	717.875	60%
2002	751.461	53%
2003	790.551	45%
2004	821.753	40%
2005	862.917	33%
2006	895.000	28%
2007	930.537	24%
2008	1.026.999	12%
2009	1.149.737	-

Além da contagem volumétrica de veículos, para a modelagem de trânsito foi necessário conhecer o comportamento do fluxo, as vias principais de acesso aos bairros da região, a velocidade média e máxima das vias, assim como também daquelas que fazem a ligação ao centro da cidade. Também se fez necessário conhecer o tipo de calçamento das vias, o número de faixas e o número, a localização e a programação dos semáforos. Estas informações foram obtidas junto à BHTRANS e em visitas de campo.

5.2.1 Simulação do tráfego da Região de Venda Nova

Foi utilizado o programa AIMSUN para a simulação do tráfego da região. O AIMSUN foi desenvolvido pela empresa TSS (*Transport Simulation Systems*), a partir de uma pesquisa realizada na *Universitat Politècnica de Catalunya*. A TSS é focada no desenvolvimento e na comercialização de programas computacionais para modelagem de transportes e gerenciamento do trânsito (TSS, 2010).

Segundo TSS (2010), o AIMSUN integra três tipos de modelos de transporte: macroscópico, mesoscópico e microscópico. Isso permite a visualização de cenários de trânsito de grandes cidades em níveis de detalhamento em duas ou três dimensões. As características de cada um destes tipos de modelagem é resumida a seguir:

- Alocação de tráfego estático (modelagem macroscópica): os recursos desta modelagem incluem a atribuição de tráfego em uma rede a nível macroscópico, ajustando as matrizes origem-destino para refletir os dados do mundo real;
- Simulação mesoscópica: usada para modelar aspectos dinâmicos de redes muito extensas. O programa simplifica dados da modelagem microscópica como o fluxo de veículos e características das vias de trânsito;
- Simulação microscópica: as características desta modelagem incluem um maior detalhamento do comportamento do tráfego, levando-se em conta o comportamento do fluxo de veículos, características das ruas, diferenças entre as vias de tráfego, presença de pedestres, entre outros parâmetros.

Nesta pesquisa, apenas a modelagem microscópica foi desenvolvida. O objetivo da criação do modelo é averiguar os impactos de uma inundação no tráfego de veículos da Região de Venda Nova. O software aloca, de forma aleatória e obedecendo a distribuições de probabilidade, os diferentes tipos de condutores nos diferentes veículos que, por sua vez, também possuem características distintas, como capacidade de aceleração.

A partir da construção de uma rede que representa as características físicas e operacionais do sistema viário, como número e largura das faixas tipo de calçamento, velocidade regulamentar, controle semafórico e volume de tráfego, o AIMSUN consegue criar cenários de trânsito distintos. Dentre os resultados, o modelo fornece o tempo gasto para concluir um dado percurso, como também o consumo de combustível para o percurso, em situações rotineiras ou sob eventos de inundação.

Depois de realizada a calibração do modelo em condições normais, isto é, sem perturbações provocadas por inundações, foram inseridos no modelo bloqueios no trânsito. Estes bloqueios têm origem nas manchas de inundação obtidas por meio da modelagem hidráulica e hidrológica realizada utilizando-se o programa SWMM. Somente então foram analisadas medidas de intervenção no trânsito. Foram propostos desvios do trânsito nos locais atingidos. Estes desvios foram implementados no modelo no momento em que se inicia uma inundação e com antecedências de 10, 30 e 60 minutos do início da inundação. Estes tempos de antecedência da implementação dos desvios foram escolhidos devido à dificuldade de se prever, com precisão, o momento e o alcance de uma inundação.

A título ilustrativo, a Figura 5.12 mostra um dos cruzamentos da Avenida Vilarinho, onde se inicia um congestionamento provocado pela interrupção entre as vias, devido a um teste de evento de inundação.

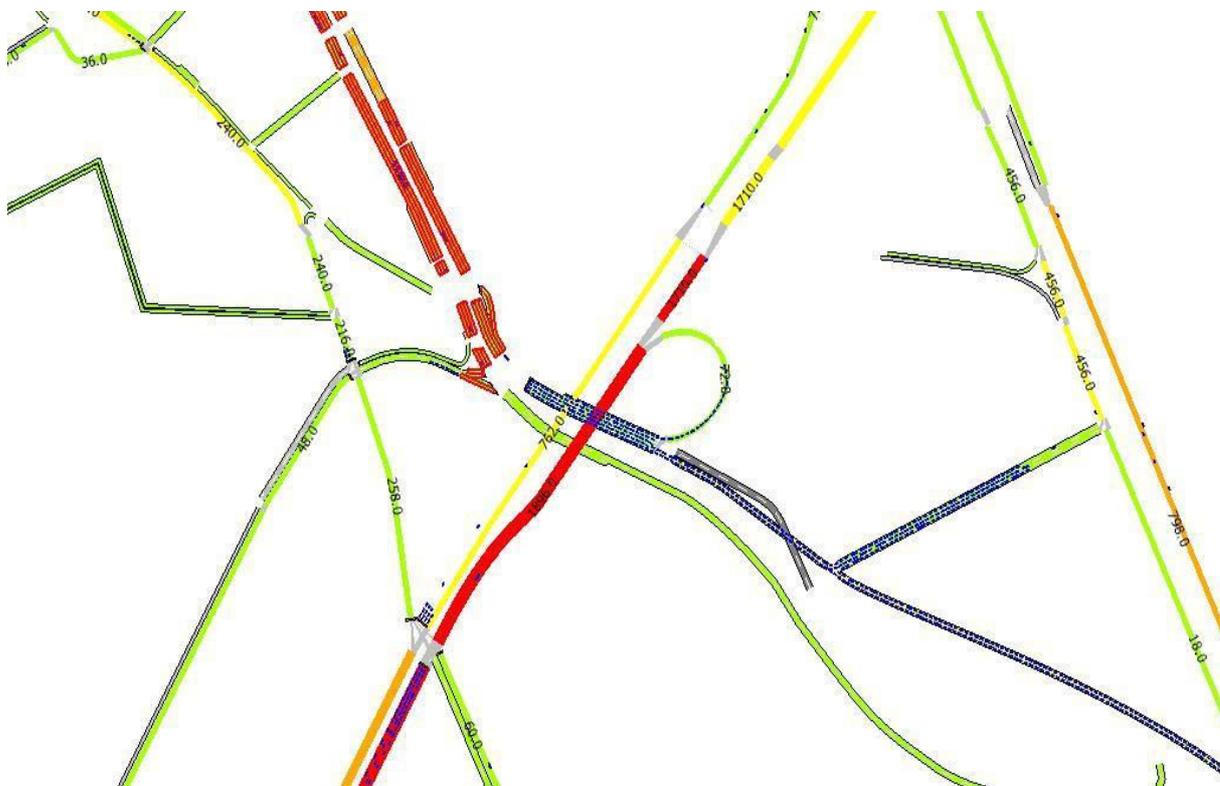


Figura 5.12 - Cruzamentos interditados – simulação do modelo de trânsito da Região de Venda Nova, obtida através do programa AIMSUN

5.2.2 Impactos econômicos de uma inundação ao trânsito

A modelagem de tráfego fornece informações sobre a variação do tempo de viagem, consumo de combustível e emissões de poluentes nos trechos viários estudados, com ou sem ocorrências de inundações. A avaliação econômica dos impactos provocados por inundações no sistema viário da Região de Venda Nova pode ser traduzida em valores monetários, conforme a abordagem proposta por Cançado (2009).

O cálculo do custo adicional de combustível devido aos congestionamentos causados pelas inundações segue metodologia descrita por Cançado (2009). Os custos podem ser estimados através da seguinte equação:

$$C = (y \times p \times 0,718) \times D$$

Onde se tem:

- C – custo total de combustível por veículo (em reais);
- y – consumo total por veículo (l/km);
- p – preço médio da gasolina (em reais);
- 0,718 – fator de correção, proposto por Nagem (2008) *apud* Cançado (2009), para equalizar a diferença entre valores de combustíveis distintos, como, por exemplo, a gasolina, o álcool e o óleo diesel;
- D – distância total do percurso estudado.

De acordo com Cançado (2009), a definição de valores monetários para o tempo é controversa e problemática. A forma encontrada para se calcular os custos adicionais ao trânsito baseia-se no custo de transporte adicional e nos custos de oportunidade causados pelo atraso na chegada ao destino (custos por tempo de atraso). A soma destes dois custos representa o custo potencial pela perturbação no tráfego. Ressalta-se que não apenas as vias inundadas apresentam transtornos, mas também as vias de desvio, onde o fluxo pode ser lento.

Vários fatores influenciam os custos de tempo associados às perturbações no trânsito de veículos. Entre eles, podem-se citar (CANÇADO, 2009):

- Intensidade do tráfego;
- Tráfego em relação à capacidade da via;
- Frequência, profundidade, extensão e duração da inundação;
- Extensão e duração do desvio;
- Classificação de vias das rotas de desvio.

Cançado (2009) explica que a definição de valores monetários para os poluentes é conceitualmente mais difícil do que para o tempo. Ao estimar o valor do tempo, é possível tomar como referência a “utilidade econômica” do indivíduo. A monetização de poluentes envolve estudos sobre os efeitos da poluição em seres humanos. Estes podem mostrar grande variabilidade de acordo com as condições do ambiente local, como clima, altitude em relação ao nível do mar, dispersão de poluentes, os padrões de vento e topografia. Portanto, para que não sejam tomadas conclusões equivocadas, é importante considerar os efeitos obtidos pela ação combinada de poluentes. O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA) juntamente com a Associação Nacional de Transportes Públicos (ANTP) propuseram em 1997

valores unitários para as principais emissões de poluentes oriundas do transporte urbano para o contexto brasileiro, a partir de estudos similares desenvolvidos nos EUA e em alguns países europeus. Estes valores unitários foram atualizados a partir de 1997 para o ano de 2010, conforme mostrado a seguir:

- Monóxido de carbono (CO): R\$ 0,45 / kg;
- Hidrocarbonetos (HC): R\$ 3,17 / kg;
- Óxido de nitrogênio (NO_x): 3,12 / kg.

É importante salientar que os custos oriundos das emissões de gases são compartilhados por um número maior de indivíduos, já que tais emissões atingem não somente os motoristas, passageiros e usuários do transporte coletivo. A emissão de gases poluentes e tóxicos afeta toda a região de origem de tais gases e pode afetar regiões vizinhas.

Esta metodologia pode servir como base de mensuração de impactos indiretos causados por inundações à população de uma região. Os custos gerados pelo trânsito, relativos ao desperdício de tempo, aumento do consumo de combustíveis e da emissão de poluentes, em um dia de trânsito normal podem então ser comparados àqueles gerados em um dia onde ocorreu uma inundação. Nesta pesquisa é apresentada uma aplicação desta metodologia. Alguns dos custos acima mencionados foram calculados para um dia de trânsito normal na Região de Venda Nova e para um dia com perturbações provocadas por inundação.

5.3 Georreferenciamento

Informações georreferenciadas são importantes para determinar corretamente a topografia das planícies de inundação, estimar o alcance das inundações para determinados níveis de precipitação, determinar a área inundada para profundidades distintas de inundação, auxiliar as tomadas de decisão corretas e necessárias para tais eventos. Tendo posse de informações georreferenciadas, manchas de inundação podem ser produzidas de maneira precisa. Desta forma, será possível avaliar os danos ao trânsito, causados para cada tipo de inundação, como também a viabilidade de uso de algumas técnicas de alertas e planos emergenciais.

Hossain e Davies (2004) desenvolveram um sistema em GIS (*Geographic Information System*), que trabalha conjuntamente o transporte, as vias de acesso e bloqueios a estas vias, como os causados por inundações. Em uma mesma base cartográfica, além das características topográficas da região e de dados hidrográficos, como a localização precisa dos cursos d'água,

são inseridos dados do trânsito local, como ruas e avenidas. Isto facilita a observação de pontos críticos. Caso existam dados sobre as manchas de inundação da área, estas informações também podem ser inseridas na mesma base. Desta forma, podem-se avaliar os impactos sobre a rede viária.

O estudo das manchas de inundação é realizado juntamente com a análise georreferenciada da Bacia do Córrego Vilarinho. Tais informações agregam dados topográficos aos dados hidráulicos e hidrológicos, entre outras informações, como a visualização precisa das vias secundárias que deverão ser utilizadas como saídas de emergência do tráfego nas regiões estudadas. Foram utilizados os softwares ARC-GIS e MapInfo para criação das manchas, além de imagens de satélite e de fotografias aéreas.

A base de dados topográficos de Belo Horizonte apresenta curvas de nível variando a cada 5 metros. É sabido que, em Belo Horizonte, inundações capazes de atingir níveis iguais ou superiores a 5 metros além da cota máxima do canal são raras. Para se obter curvas de nível que variam a cada metro, foi feita uma interpolação no ARC-GIS. Para a criação de manchas de inundação, foram utilizados intervalos menores entre as curvas de nível, a cada 10 centímetros.

Além das ferramentas computacionais mencionadas, o *software* livre *Google Earth* foi utilizado em etapas da pesquisa. Este programa computacional permite a visualização da área estudada sob várias perspectivas, como a análise espacial de imagens de satélite e a análise local por fotografias, além de possibilitar a marcação de pontos relevantes. Como exemplo de tais pontos, pode-se citar aqueles relativos a pontos de alagamento. A PBH, juntamente com a COBRAPE, utilizou a informação visual disponibilizada pelo programa como auxílio para se determinar a taxa de impermeabilização da região, como está apresentado no Anexo V.

Nesta pesquisa, o programa *Google Earth* foi utilizado para a análise de dados do fluxo do tráfego da região, sanando dúvidas a respeito de características do trânsito, como os movimentos possíveis em um dado cruzamento, caso isto não tenha sido realizado anteriormente em visitas de campo. Paralelamente, os mapas georreferenciados de topografia, hidrografia e logradouros da região, obtidos pelos *softwares* ARC-GIS e MapInfo, foram utilizados para a criação de manchas de inundação e visualização das vias de trânsito atingidas. A Figura 5.13 mostra a imagem de satélite de um trecho da região estudada. O mapa

com a topografia, hidrografia e arruamento desta mesma região, criado com o auxílio do *software* MapInfo, é mostrado na Figura 5.14.



Figura 5.13 – Trecho da Região de Venda Nova - imagem de satélite (*Google Earth*)

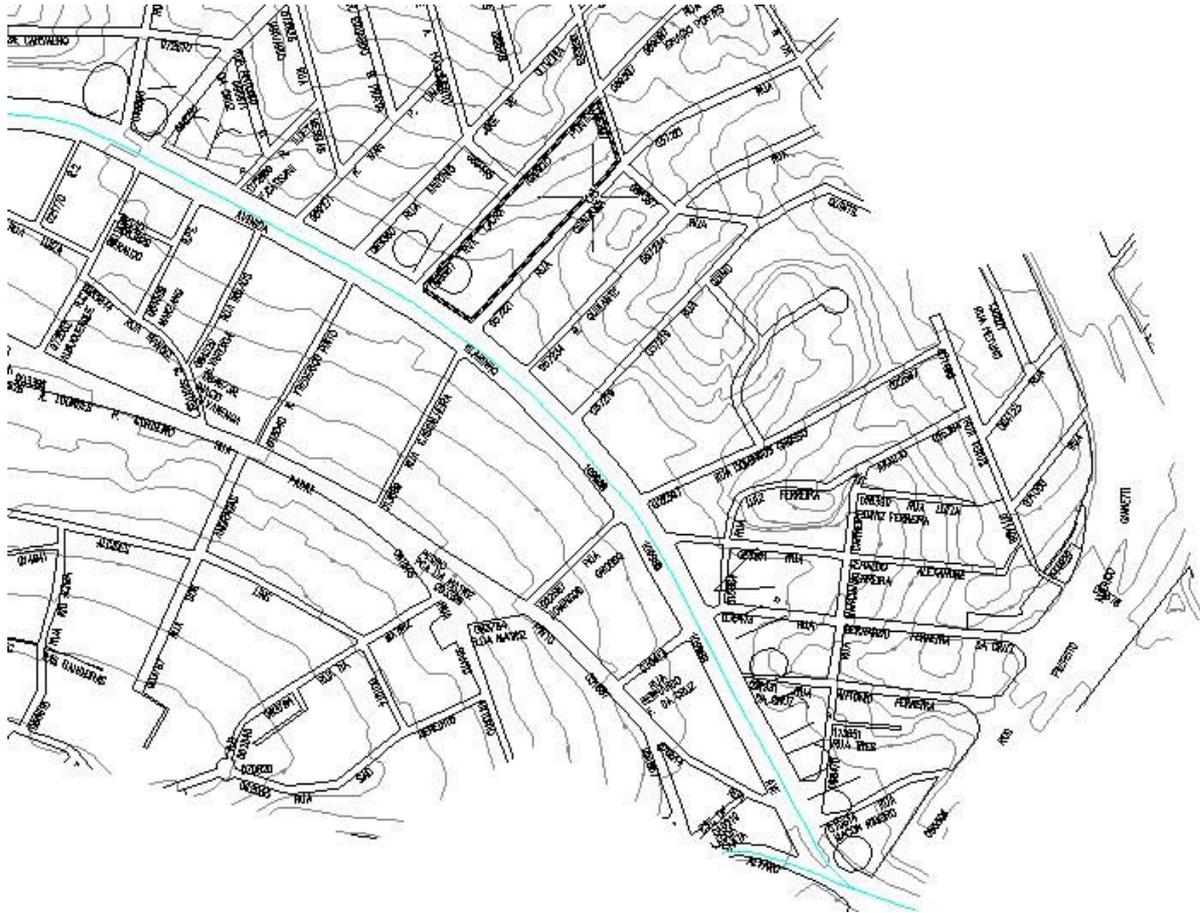


Figura 5.14 - Mapa com topografia, hidrografia e vias de trânsito

O trabalho de georreferenciamento realizado nesta pesquisa foi dividido em três etapas. Primeiramente, foi criado um mapa com as características topográficas da Bacia do Vilarinho. Conforme explicado anteriormente, os dados topográficos disponibilizados pela Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte (PRODABEL) e pela PBH trazem curvas de nível a cada cinco metros de variação topográfica, conforme é mostrado na Figura 5.14. Esta resolução não é suficiente para a criação das manchas de inundação. Com o auxílio de programas computacionais para geoprocessamento, como o ARC-GIS, foram interpoladas curvas de nível com aproximação de 10 cm. Porém, exibir tais curvas de nível em um mapa de uma bacia hidrográfica criaria uma imagem bastante poluída visualmente. Mapas com curvas interpoladas a cada 10 centímetros foram utilizados apenas na criação das manchas. O mapa topográfico manteve a interpolação das curvas de nível a cada metro. Estas curvas variam por tonalidade de cores, onde o verde representa as áreas mais baixas e o marrom as mais altas, conforme ilustrado na Figura 5.15, já com a hidrografia da região.

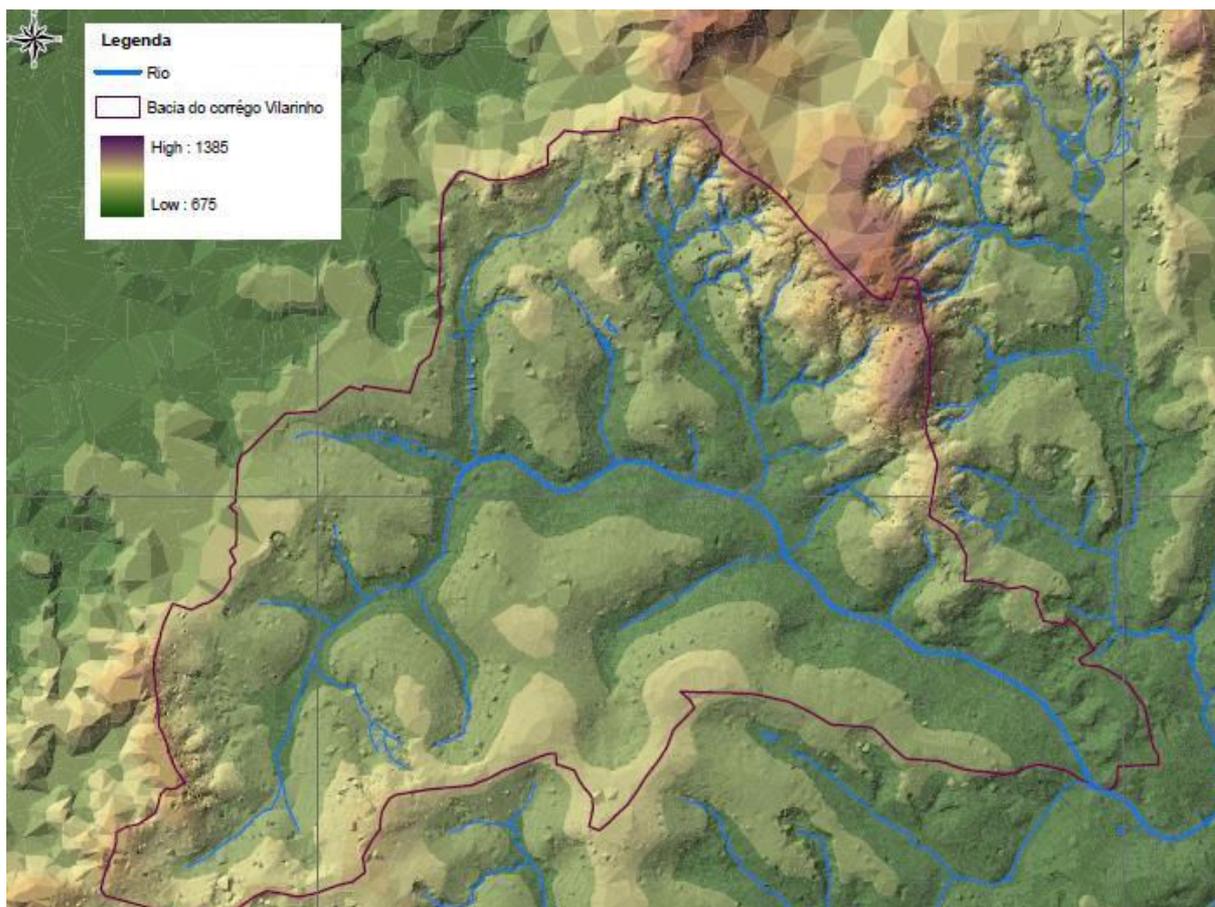


Figura 5.15 - Detalhes topográficos da Bacia do Vilarinho

Com a topografia detalhada, são inseridas as vias de tráfego da região. Posteriormente, são criadas as manchas de inundação, para inundações de características distintas. Com a topografia e as vias inseridas, é possível verificar o impacto no trânsito, quais vias são atingidas e os limites dos bloqueios. Estas informações são relevantes para a modelagem de tráfego.

6 Resultados

Em um primeiro momento, serão apresentados os resultados relacionados à modelagem hidráulica e hidrológica, com a apresentação das manchas de inundação para inundações de níveis distintos. Serão discutidas aqui as vias atingidas. Tendo listados os bloqueios no tráfego, os resultados referidos à modelagem de tráfego serão apresentados e comparados com o comportamento do tráfego na região, sem a ocorrência de bloqueios. Através da modelagem de tráfego serão discutidos os possíveis sistemas de alertas e planos emergenciais, analisados os já existentes e implantados em Belo Horizonte, como também serão propostas melhorias.

6.1 Inundações na Bacia do Vilarinho

Inicialmente, foram modeladas chuvas projetadas de 5, 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno. A duração das chuvas modeladas variou de 30 minutos a 10 horas. Foi verificado que as chuvas a partir de 25 anos de tempo de retorno e de duração igual ou superior a 30 minutos provocam inundações na região. As chuvas de menor duração oferecem maior risco, uma vez que provocam alturas de inundação maiores. Confirmou-se que a duração dos eventos que conduzem às maiores vazões de pico para os diferentes tempos de retorno simulados situa-se entre 60 e 90 minutos, conforme demonstrado a seguir.

A título ilustrativo, a Figura 6.1 e a Figura 6.2 representam hietogramas acumulados de precipitação para durações respectivas de 90 minutos e 5 horas. Os gráficos foram obtidos a partir do modelo SWMM da Bacia do Vilarinho. Ambas são chuvas de projeto, de 25 anos de tempo de retorno.

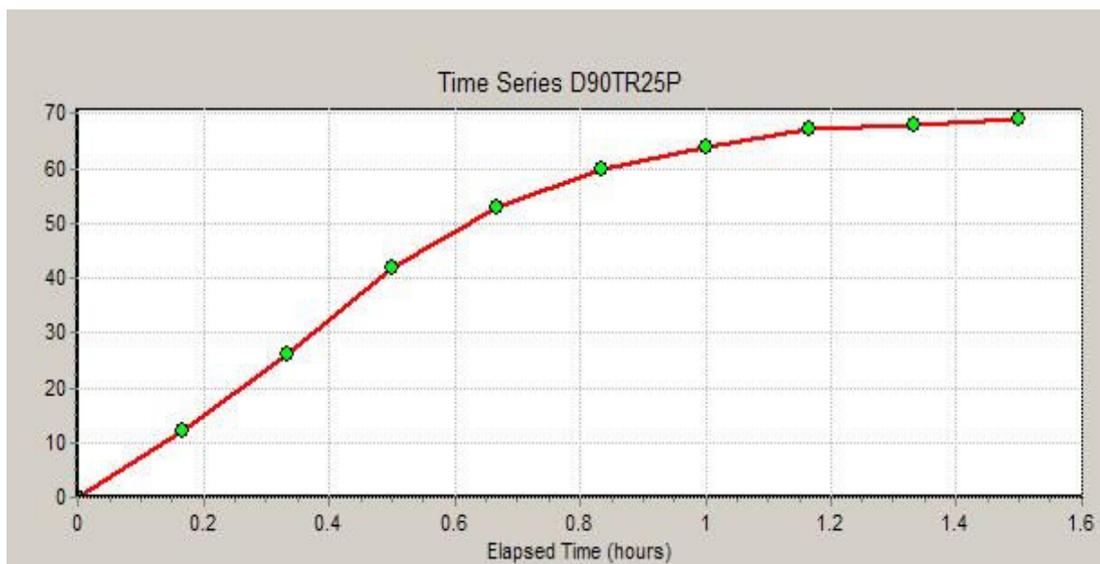


Figura 6.1 - Gráfico da precipitação acumulada (mm) para um hietograma de projeto com duração de 90 minutos e Tempo de Retorno de 25 anos

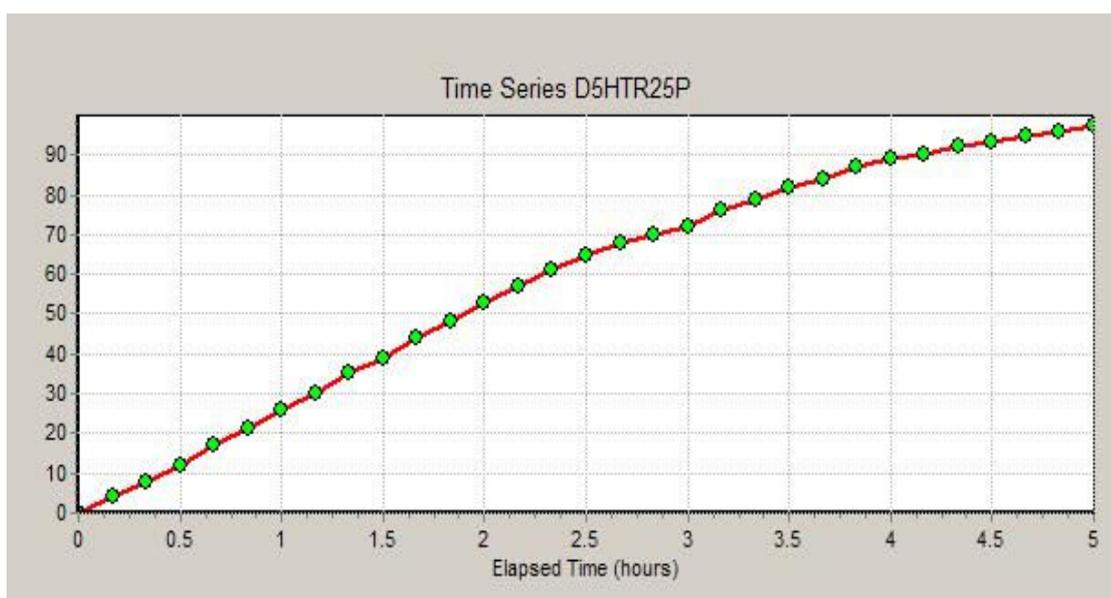


Figura 6.2 - Gráfico da precipitação acumulada (mm) para um hietograma de projeto com duração de 5 horas e Tempo de Retorno de 25 anos

A simulação da precipitação de projeto de uma hora e meia de duração e tempo de retorno de 25 anos provocou o transbordamento de alguns córregos da Bacia do Vilarinho. Trechos em canal natural, como o Córrego do Capão (Córrego da Avenida Navegantes), apresentaram transbordamentos. Porém, este córrego não possui nenhuma avenida marginal ou via de tráfego que seja importante para o estudo de impacto da inundação no trânsito, um dos

objetivos da pesquisa. Os córregos que não têm relevância para o trânsito na região não foram aqui considerados no planejamento de contingência de inundações. Entretanto, tais informações são importantes para planos de prevenção, no sentido de se evitar a ocupação de tais áreas de risco.

Um importante eixo de fluxo dos veículos, a Avenida Vilarinho, teve também trechos inundados. Outras avenidas responsáveis por conduzir o fluxo de veículos dos bairros da região também sofreram impactos e foram bloqueadas devido a inundações. Podem-se citar os seguintes trechos que sofreram inundação:

- Avenida Vilarinho, junto à Avenida Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
- Avenida Vilarinho, próximo à Avenida Dois;
- Avenida Vilarinho, junto à Avenida Baleares;
- Avenida Vilarinho, após Avenida Liege.

O hidrograma para a chuva sintética de 90 minutos de duração e de 25 anos de tempo de retorno é ilustrado pela Figura 6.3. O hietograma resultante desta chuva para o Córrego Vilarinho, no trecho situado entre a Avenida Dois e a Rua Maçon Ribeiro, é apresentado na Figura 6.4. Neste trecho, qualquer profundidade de escoamento superior a 2,5 metros pode vir a causar inundação.

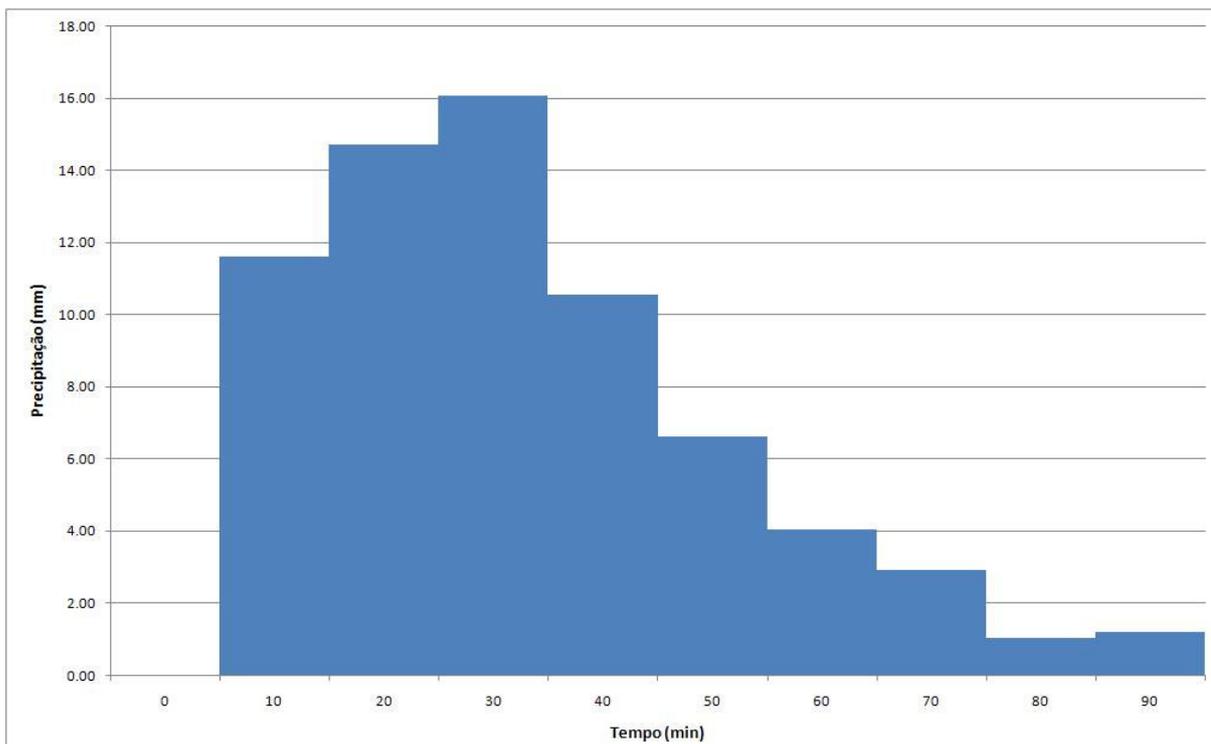


Figura 6.3 - Hietograma da chuva sintética de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração

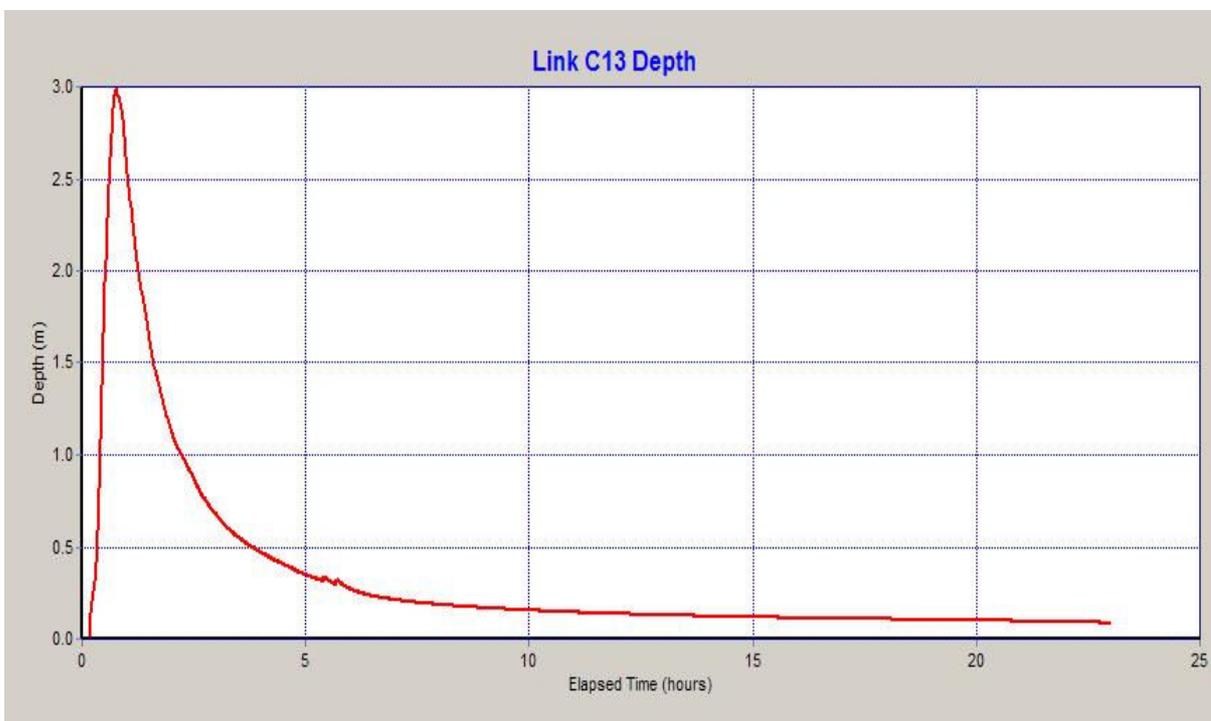


Figura 6.4 – Cotagrama do Córrego Vilarinho, próximo à Rua Maçon Ribeiro – chuva sintética de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração

Por meio do cotograma apresentado, é possível observar que a inundação, neste ponto, é uma inundação rápida. O Córrego Vilarinho transborda depois de decorridos 36 minutos de chuva. A inundação teve a duração de 25 minutos e a maior profundidade observada no modelo foi de 49 centímetros neste trecho. O comportamento da altura da linha d'água no tempo pode ser mais bem compreendido na Tabela 6.1.

A velocidade de escoamento aumentou consideravelmente logo aos 21 minutos de chuva e atingiu o valor máximo de 5,74 m/s após 57 minutos do início da precipitação. A Figura 6.5 ilustra o comportamento da velocidade de escoamento no tempo. Neste instante, a profundidade da inundação era de 2,73 m e a vazão no canal de 100 m³/s.

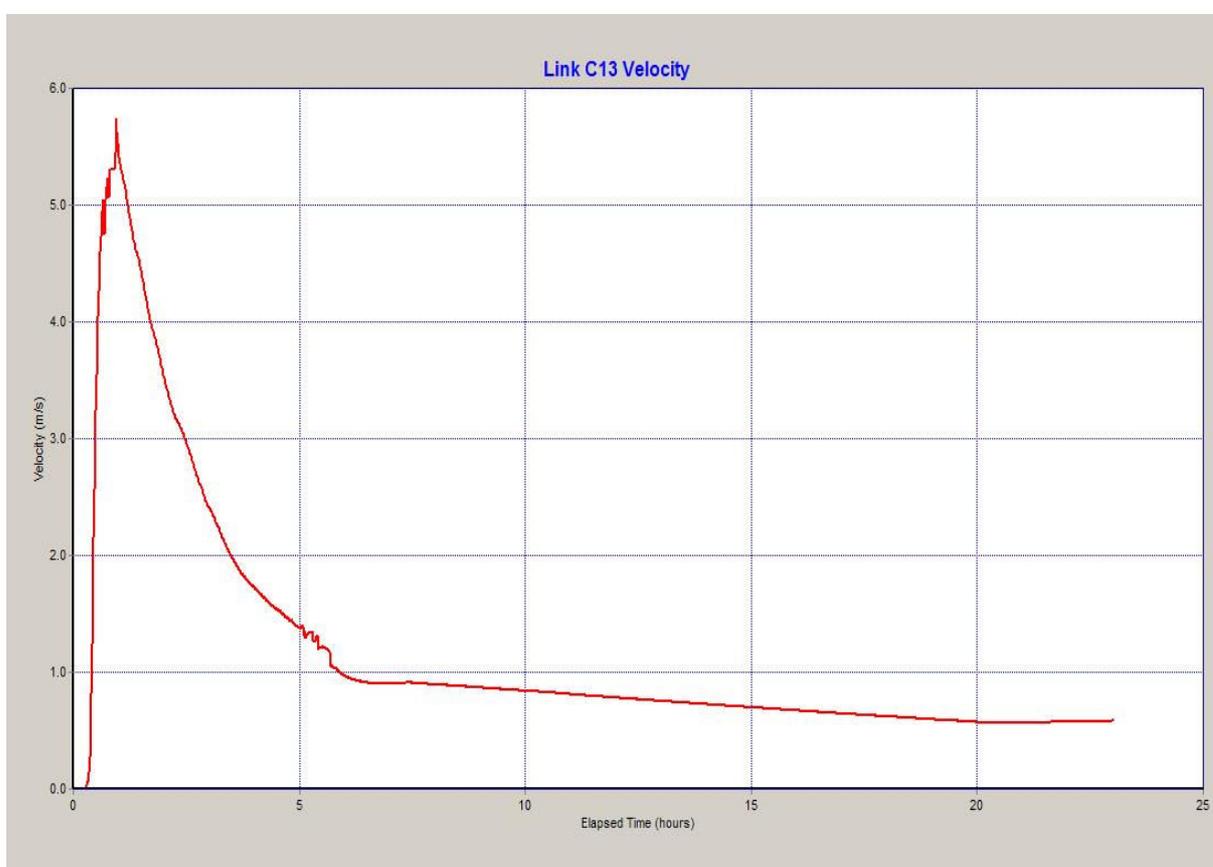


Figura 6.5 - Velocidade de escoamento no Córrego Vilarinho, durante um evento de inundação

Tabela 6.1 - Profundidade e duração de uma chuva de projeto de 90 minutos de duração e 25 anos de Tempo de Retorno - Avenida Vilarinho, próximo à Rua Maçon Ribeiro

Inundação da Avenida Vilarinho, próximo à Rua Maçon Ribeiro e à Avenida Álvaro Camargos

Tempo, após o início da inundação (h)	Profundidade (m)
00:37	2.54
00:38	2.62
00:39	2.68
00:40	2.74
00:41	2.83
00:42	2.88
00:43	2.92
00:44	2.95
00:45	2.97
00:46	2.98
00:47	2.99
00:48	2.96
00:49	2.95
00:50	2.94
00:51	2.92
00:52	2.9
00:53	2.88
00:54	2.85
00:55	2.83
00:56	2.79
00:57	2.73
00:58	2.67
00:59	2.62
01:00	2.57
01:01	2.53
01:02	2.5

Os resultados da modelagem das chuvas sintéticas, quanto à profundidade e a duração das inundações, estão apresentados na Tabela 6.2. Conforme explicado anteriormente, as chuvas de menor duração provocam inundações de profundidades maiores quando comparadas às chuvas de maior duração. As chuvas de projeto de duração igual ou superior a 10 horas não causaram inundações no Córrego Vilarinho.

No modelo SWMM, alguns canais em leito natural também acusaram inundações para durações e tempos de retorno distintos. A saber:

- Córrego do Capão: inundações nas confluências com os córregos Piratininga e Ribeirão Vermelho, para chuvas de 30, 60, 90 e 120 minutos de duração;
- Córrego Brejo do Quaresma: algumas inundações de pequena duração, para chuvas de 30, 60 e 90 minutos;
- Córrego Baleares: inundações para chuvas de 30, 60 e 90 minutos.

Conforme mencionado, estes córregos não provocam distúrbios consideráveis ao trânsito, por não haver vias de tráfego importantes em suas margens. Porém, para a implantação de medidas como planos de prevenção de risco, estas informações passam a ser relevantes. Elas são também relevantes para o planejamento de contingência, porém, considerando-se o foco do presente trabalho na gestão do trânsito, esses casos de inundação não foram aqui considerados.

Outros córregos de menor expressão para a bacia hidrográfica também não foram analisados. Chuvas de projeto com tempo de retorno de 2, 5 e 10 anos não provocaram inundações nos principais córregos da Bacia do Vilarinho, de acordo com os resultados obtidos pela modelagem. Tempos de retorno superiores a 100 anos não foram tratados neste trabalho.

Tabela 6.2 - Resultados da modelagem hidráulica e hidrológica para chuvas de projeto

Precipitação		Inundação					
Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)	Profundidade (m)	Início (h)	Fim (h)	Duração (min)	Local inundado: Av. Vilarinho	
30	25	0,37	00:29	00:40	11	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;	
		0,32	00:27	00:37	10	Próximo à Av. Dois.	
	50	0,52	00:28	00:42	14	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;	
		0,49	00:25	00:39	14	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois;	
		0,21	00:25	00:33	8	Próximo à Av. Baleares;	
		0,23	00:23	00:34	11	Após Av. Liege.	
	100	0,68	00:27	00:44	17	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;	
		0,66	00:25	00:41	16	Próximo à Av. Dois;	
		0,36	00:23	00:35	12	Próximo à Av. Baleares;	
		0,37	00:22	00:35	13	Após Av. Liege.	
	60	25	0,65	00:33	00:56	23	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
			0,60	00:30	00:55	25	Próximo à Av. Dois;
0,18			00:30	00:43	13	Próximo à Av. Baleares;	
0,20			00:29	00:43	14	Após Av. Liege.	
50		0,82	00:31	01:00	29	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;	
		0,81	00:29	00:58	29	Próximo à Av. Dois;	
		0,54	00:28	00:49	21	Próximo à Av. Baleares;	
		0,60	00:27	00:49	22	Após Av. Liege.	
100		0,99	00:30	01:02	32	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;	
		0,99	00:28	01:00	32	Próximo à Av. Dois;	
		0,72	00:27	00:52	25	Próximo à Av. Baleares;	
		0,76	00:26	00:52	26	Após Av. Liege.	

Precipitação		Inundação				
Duração (min)	Tempo de Retorno (anos)	Profundidade (m)	Início (h)	Fim (h)	Duração (min)	Local inundado: Av. Vilarinho
90	25	0.54	00:41	01:03	22	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.49	00:37	01:02	25	Próximo à Av. Dois;
		0.09	00:39	00:50	11	Próximo à Av. Baleares;
		0.06	00:40	00:50	10	Após Av. Liege.
	50	0.75	00:36	01:07	31	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.75	00:34	01:05	31	Próximo à Av. Dois;
		0.31	00:35	00:56	21	Próximo à Av. Baleares;
		0.26	00:35	00:55	20	Após Av. Liege.
	100	0.9	00:35	01:11	36	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.89	00:32	01:09	37	Próximo à Av. Dois;
		0.59	00:32	00:59	27	Próximo à Av. Baleares;
		0.58	00:32	00:59	27	Após Av. Liege.
120	25	0.22	00:46	01:08	22	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.23	00:42	01:05	23	Próximo à Av. Dois.
	50	0.58	00:42	01:17	35	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.58	00:38	01:13	35	Próximo à Av. Dois;
		0.1	00:44	00:57	13	Próximo à Av. Baleares;
		0.07	00:45	00:57	12	Após Av. Liege.
	100	0.69	00:40	01:20	40	Entre a Av. Álvaro Camargos e à Rua Maçon Ribeiro;
		0.7	00:36	01:16	40	Próximo à Av. Dois;
		0.23	00:40	01:06	26	Próximo à Av. Baleares;
		0.19	00:41	01:05	24	Após Av. Liege.

Além dos resultados da modelagem de eventos sintéticos de precipitação, é necessário simular os resultados de alguma chuva ocorrida na região. Desta forma, o modelo não se baseará apenas em chuvas de projeto, mas também em chuvas históricas, registradas para a região. O registro de inundações de Belo Horizonte foi analisado juntamente com os dados de chuvas históricas.

A modelagem de um evento histórico visa retratar os problemas da região com inundações, durante as últimas décadas. Através da modelagem hidráulica e hidrológica de um evento histórico da região é possível retratar um quadro da realidade vivida nos locais afetados. A Região de Venda Nova, mais precisamente a Bacia do Vilarinho, registrou duas inundações no decorrer do ano de 1994, conforme citado na Tabela 5.4. O histórico pluviométrico apresentado pela Estação Usina de Gás (01944065) traz o registro diário de chuvas desde 1984 até 2009. Tomando como exemplo o ano de 1994, resumido através da Tabela 5.2, é possível destacar as precipitações passíveis de causar inundações. Os resultados obtidos através da simulação de eventos sintéticos permitem avaliar quais precipitações registradas oferecem riscos. Em 13 de janeiro de 1994 ocorreu uma precipitação de aproximadamente 56 mm acumulados em uma hora. Em 12 de março, uma precipitação de duas horas de duração acumulou uma altura de aproximadamente 85 mm. Estas duas precipitações foram modeladas.

A chuva de 13 de janeiro de 1994 começou às 18 horas e teve uma hora de duração. Os registros pluviométricos registram alturas de precipitação de hora em hora. Para serem inseridas no modelo, a intensidade das chuvas foi interpolada para intervalos de 10 minutos, de acordo com o estudo proposto por Pinheiro e Naghettini (1998). Portanto, para a chuva de 13 de janeiro de 1994, obteve-se a tabela de precipitação acumulada a seguir (Tabela 6.3).

Tabela 6.3 - Precipitação acumulada - janeiro de 1994

Data da ocorrência	Horário	Precipitação acumulada (mm)
13/01/1994	18:00	0
	18:10	15
	18:20	35
	18:30	46
	18:40	52
	18:50	54
	19:00	56

Esta chuva é de importância relevante para o sistema viário. O horário de ocorrência da precipitação descrita coincide com o horário de maior intensidade de fluxo de veículos, quando as pessoas estão deixando o trabalho e locomovendo-se para suas casas. Uma inundação neste horário causaria uma perturbação maior no trânsito e teria conseqüências maiores quando comparada a uma inundação em algum horário onde o trânsito não seja tão intenso. Esta chuva veio provocar inundações de duração e intensidade semelhantes àquelas descritas pelas chuvas sintéticas. O Córrego Vilarinho veio a transbordar em alguns locais, a destacar os cruzamentos com a Avenida Liege, com a Avenida Dois e com a Avenida Álvaro Camargos. O cotograma do Córrego Vilarinho próximo à Avenida Álvaro Camargos é apresentada na Figura 6.6.



Figura 6.6 - Inundação de 13 de Janeiro de 1994 - Córrego Vilarinho

A Tabela 6.4 mostra o comportamento do Córrego Vilarinho após o início da chuva, em relação à vazão e à altura do nível da água.

Tabela 6.4 - Vazão e profundidade do Córrego Vilarinho após início da chuva

Horário (h)	Vazão (m ³ /s)	Profundidade (m)
18:31:00	70	2.55
18:32:00	74.27	2.72
18:33:00	84.15	2.83
18:34:00	92.01	2.92
18:35:00	97.8	2.97
18:36:00	100.32	3.01
18:37:00	96.53	3.04
18:38:00	100.06	3.06
18:39:00	102.32	3.07
18:40:00	108.61	3.01
18:41:00	106.26	2.98
18:42:00	104.17	2.94
18:43:00	102.66	2.92
18:44:00	100.5	2.87
18:45:00	98.3	2.83
18:46:00	96.47	2.78
18:47:00	100.02	2.72
18:48:00	96.39	2.64
18:49:00	91.72	2.57
18:50:00	87.82	2.5

No intuito de simular as duas precipitações que possivelmente causaram as inundações históricas de 1994, a precipitação do dia 12 de março de 1994 também foi inserida no modelo. Como previsto, esta precipitação também gerou inundações em alguns trechos do Córrego Vilarinho. Apesar da altura total da chuva ter alcançado aproximadamente 85 mm, a precipitação ocorreu durante duas horas. Os impactos desta chuva foram menores comparados à precipitação do dia 13 de janeiro. A Tabela 6.5 mostra os resultados da modelagem a respeito das inundações provocadas por estas chuvas.

Tabela 6.5 - Resultados da modelagem das chuvas históricas - Inundações na Bacia do Vilarinho - 1994

Data de ocorrência do evento	Duração da precipitação (min)	Profundidade da inundação (m)	Início da inundação (h)	Fim da inundação (h)	Duração da inundação (min)	Local inundado
13/01/1994	60	0,66	18:33	18:52	19	Av. Vilarinho, entre Av. Álvaro Camargos e Rua Maçon Ribeiro;
		0,57	18:31	18:51	20	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois;
		0,17	18:31	18:42	11	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares;
		0,12	18:31	18:41	10	Av. Vilarinho, após Av. Liege.
12/03/1994	120	0,15	22:42	22:50	8	Av. Vilarinho, entre Av. Álvaro Camargos e Rua Maçon Ribeiro;
		0,13	22:40	22:48	8	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois.

Tanto nas simulações de eventos sintéticos de precipitação quanto nas de eventos históricos, nota-se a que a altura do nível da água no córrego sobe rapidamente. Conforme visto na revisão da literatura deste trabalho, este fato explica-se pelo alto índice de urbanização da Região de Venda Nova, que diminui a taxa de infiltração da água no solo, ou seja, aumenta a impermeabilização do solo. A este fator soma-se o agravante da topografia com declividades acentuadas nesta região, responsável por aumentar a velocidade de escoamento da água. A água chega rapidamente aos córregos e em maior quantidade, fazendo-os transbordar rapidamente. Considerando-se os eventos sintéticos e históricos simulados com potencial para causar inundação em eixos viários importantes, na bacia, estima-se que o tempo entre o início da precipitação e o início dos extravasamentos encontra-se no intervalo entre 20 e 30 minutos.

6.2 As Manchas de inundação na Bacia do Vilarinho

A topografia característica da Região de Venda Nova apresenta declividades elevadas, fazendo com que os canais tenham alta velocidade de escoamento. Como a região é bastante

impermeabilizada, o tempo de concentração da bacia é pequeno. A região sofre com inundações rápidas. Para um melhor entendimento sobre o alcance de uma inundação e os impactos causados por ela, os resultados relativos à profundidade da inundação, obtidos através da modelagem hidráulica e hidrológica, foram inseridos em mapas topográficos georreferenciados.

Foram geradas manchas de inundação georreferenciadas para cada inundação descrita na Tabela 6.2 e na Tabela 6.5. Na Figura 6.7 é mostrada a mancha de inundação para a chuva projetada de 25 anos de tempo de retorno e de 90 minutos de duração. Este recurso foi indispensável para implementar os bloqueios no trânsito, além de fornecer uma boa visualização do alcance da inundação. As manchas de inundação para os demais cenários estão apresentadas no Anexo VII.

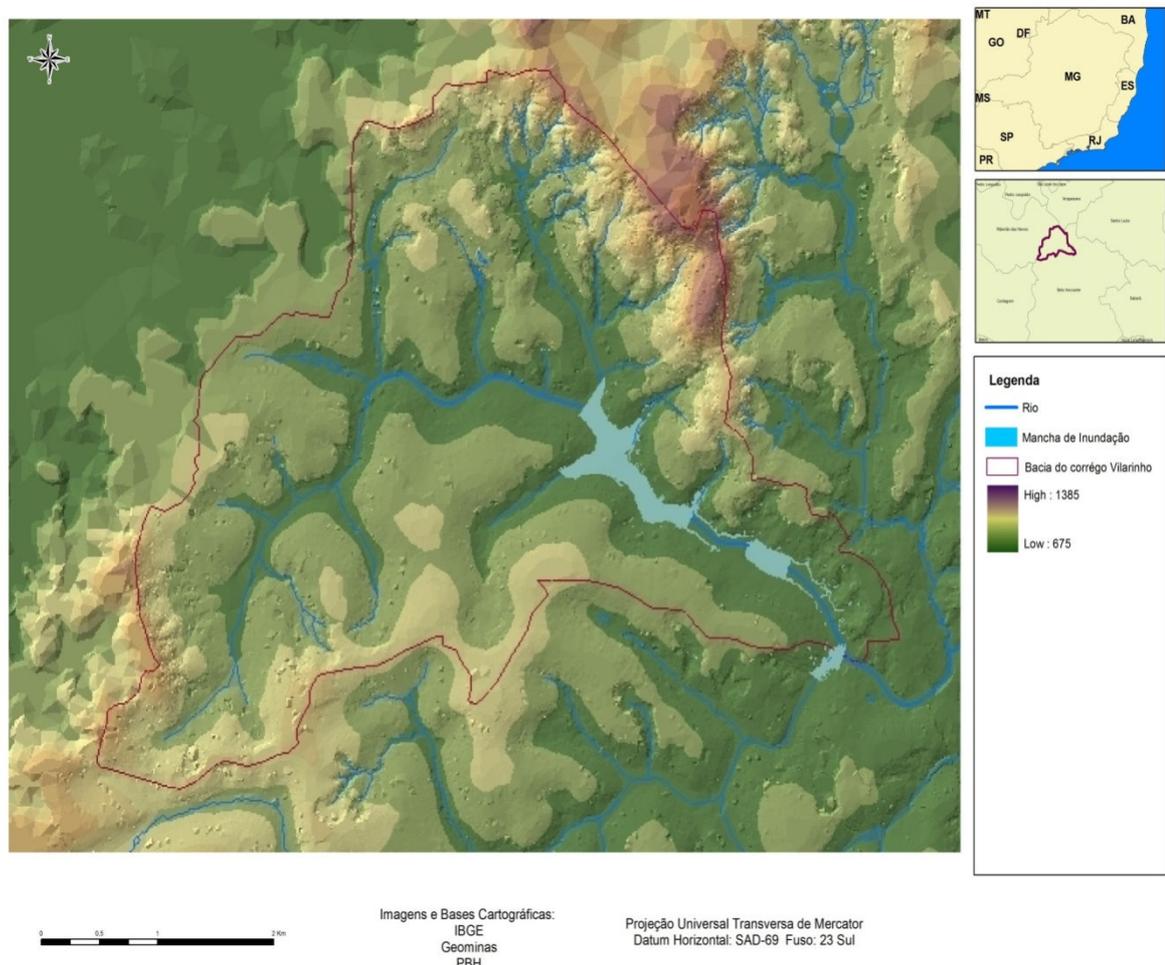


Figura 6.7 - Mancha de inundação provocada por uma chuva de projeto de 25 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração

Para os eventos cujas simulações indicaram a ocorrência de inundações, há grande semelhança entre as manchas de inundação resultantes, em termos de localização e área inundada. Isso decorre das características topográficas da área, com vales estreitos e declividade longitudinal elevada. As maiores diferenças entre os eventos de inundação, segundo sua duração e tempo de retorno, são notadas nas cotas de inundação e nas velocidades de escoamento.

É importante ressaltar que se notou, igualmente, uma variação significativa no tempo de duração das inundações. A duração da inundação aumentou para chuvas de tempo de retorno maiores, de mesma duração, como esperado. Com isso, conforme discutido nos próximos parágrafos, para efeito de bloqueio de trânsito, a variável determinante foi a duração das inundações. A localização dos trechos bloqueados não sofreu alteração para os distintos eventos causadores de inundação, segundo os cenários simulados.

6.3 Impactos no trânsito

O estudo sobre os impactos no trânsito da Região de Venda Nova, causados por inundações, fez-se da maneira descrita a seguir. Inicialmente, o tráfego da região em um dia normal foi modelado por meio do programa AIMSUN. Em seguida foram inseridos os cenários de inundação, que geraram bloqueios nas principais vias de tráfego da mesma região. Estes cenários foram criados a partir dos resultados obtidos através da modelagem hidráulica e hidrológica e com as manchas de inundação criadas para a região. Posteriormente, foram simulados desvios do tráfego segundo a perspectiva de gestão do trânsito em situação de contingência de inundação. Os desvios foram inseridos no momento em que se inicia a inundação, com uma antecedência de 10 minutos, 30 minutos e 60 minutos. Os resultados obtidos com o auxílio do *software* AIMSUN são analisados nesta seção.

No modelo de tráfego, os desvios propostos com antecedência de 30 minutos e 60 minutos provocaram distúrbios no tráfego de intensidade semelhante àqueles provocados por inundações, devido à utilização de desvios com menor capacidade de tráfego. Para as inundações provocadas por chuvas convectivas, a previsão com esta antecedência é relativamente difícil e necessita de equipamentos como os radares meteorológicos. Belo Horizonte ainda não possui o radar meteorológico, portanto tais previsões não apresentam boa confiabilidade e podem provocar distúrbios desnecessários no trânsito. Logo, os resultados relativos aos desvios propostos com antecedência de 30 e 60 minutos foram descartados.

A rede de tráfego modelada contemplou as principais vias da região, conforme ilustrado pela Figura 6.8. No modelo de tráfego, estão também inseridos todos os semáforos existentes nas vias, com seus respectivos tempos semaforicos.

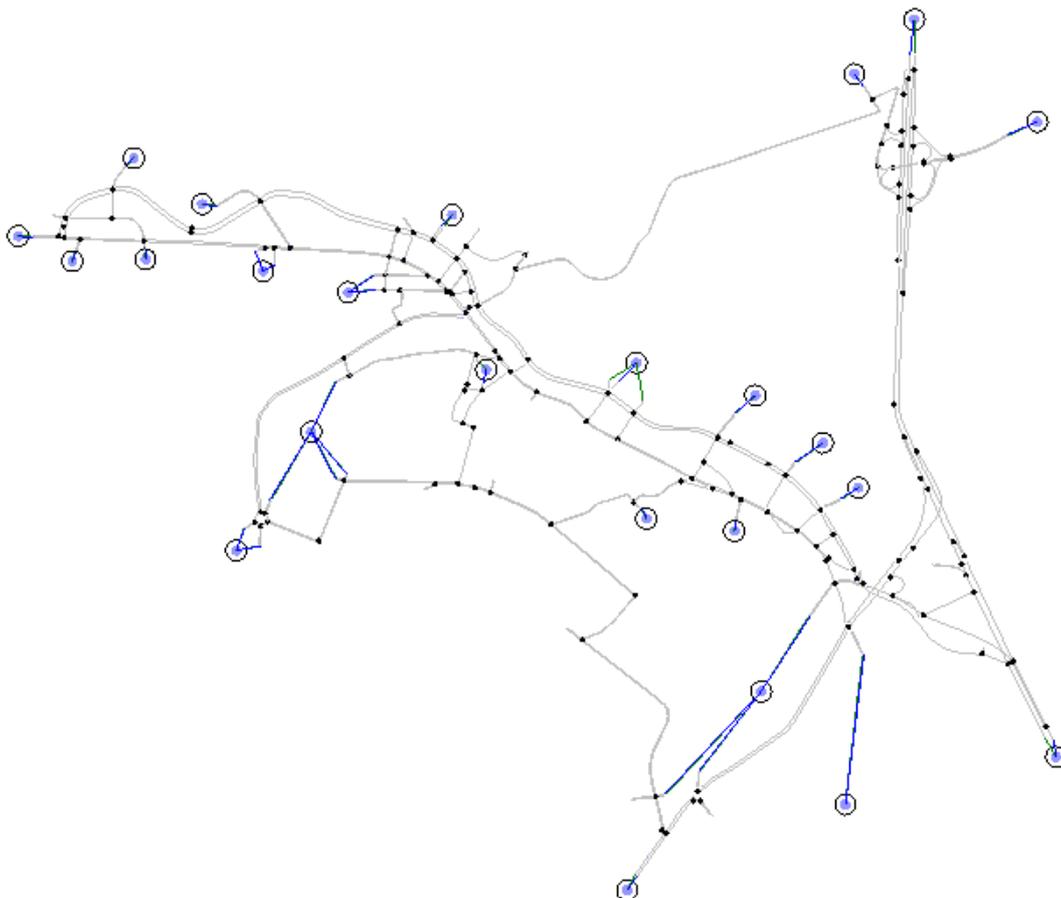


Figura 6.8 - Vias modeladas - Região de Venda Nova

6.3.1 O trânsito na Região de Venda Nova

O modelo de tráfego da Região de Venda Nova mostra que o horário crítico, quando tratada a densidade do tráfego, em veículos por quilômetro, é compreendido entre às 17 horas e 40 minutos e 19 horas e 50 minutos. Neste intervalo, a média da densidade de veículos ultrapassa 20 veículos por quilômetro de vias totais. Às 19 horas e 40 minutos, o modelo indicou um total de 8.358 veículos circulando pela região.

O consumo total de combustível, em litros, segue as características da densidade e do fluxo de veículos, supracitados. A poluição gerada também acompanha as características anteriormente

descritas. O gráfico apresentado pela Figura 6.9 exemplifica a variação das emissões de dióxido de carbono, CO₂, durante o intervalo de 6 horas da manhã, às 10 horas da noite.

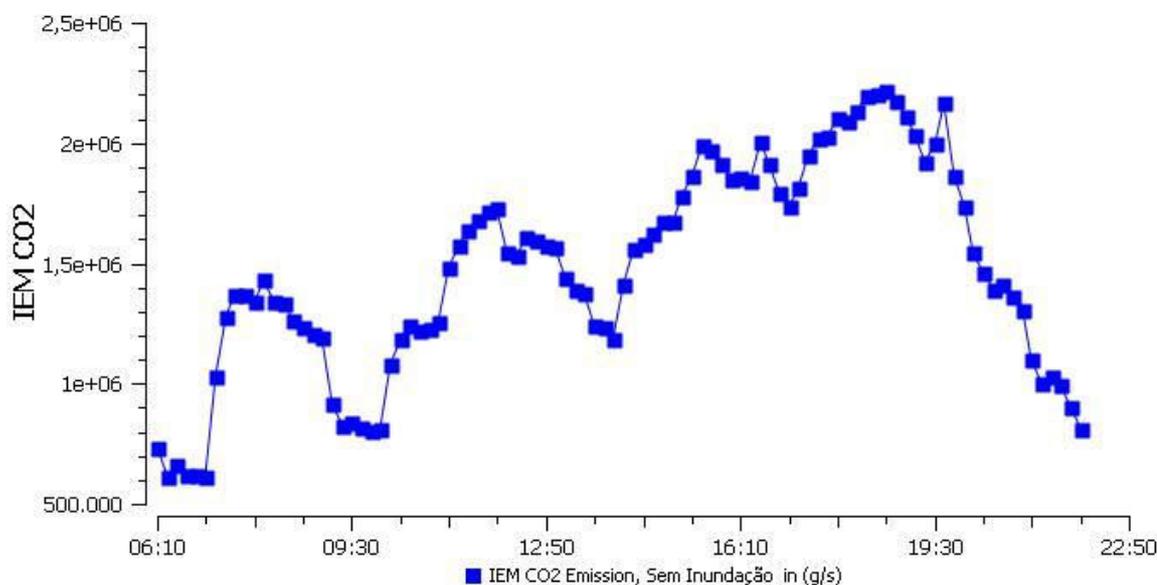


Figura 6.9 - Emissões de CO₂ em um cenário normal (sem inundação)

O *software* AIMSUN exprime a quantidade de emissão de CO₂ em unidades inglesas de vazão volumétrica, neste caso, galões por segundo. A Tabela 6.6 a seguir apresenta a variação das emissões de CO₂ durante um dia sem inundações, convertida para unidades internacionais de medida, ou seja, metros cúbicos por segundo (m³/s). Os valores obtidos são relativos apenas às vias modeladas, o que significa que, para a região como um todo, a emissão de CO₂ é maior. É destacado na tabela o horário de maior emissão de CO₂, igual a 10.104,76 m³/s.

Tabela 6.6 - Emissões de CO₂ para um dia de trânsito normal na rede modelada

Emissões de CO ₂ em um dia normal (sem inundação)		
Horário	galões / segundo	m ³ /s
07:00	614.556,66	2.796,23
08:00	1.431.418,96	6.512,96
09:00	1.190.142,18	5.415,15
10:00	810.412,54	3.687,38
11:00	1.255.281,53	5.711,53
12:00	1.726.677,79	7.856,38
13:00	1.569.309,04	7.140,36
14:00	1.184.293,71	5.388,54
15:00	1.669.757,94	7.597,40
16:00	1.847.782,88	8.407,41
17:00	1.738.297,08	7.909,25
18:00	2.089.603,83	9.507,70
19:00	2.220.826,62	10.104,76
20:00	2.112.697,67	9.612,77
21:00	1.302.201,99	5.925,02
22:00	813.202,61	3.700,07

A velocidade média do tráfego na região varia de aproximadamente 50 km/h às 6 horas, para valores em torno de 25 km/h às 18 horas, conforme ilustrado na Figura 6.10. O modelo ainda fornece dados sobre o tempo médio gasto em paradas durante o percurso e o tempo médio de viagem na região. Estes dados estão apresentados na Tabela 6.7.

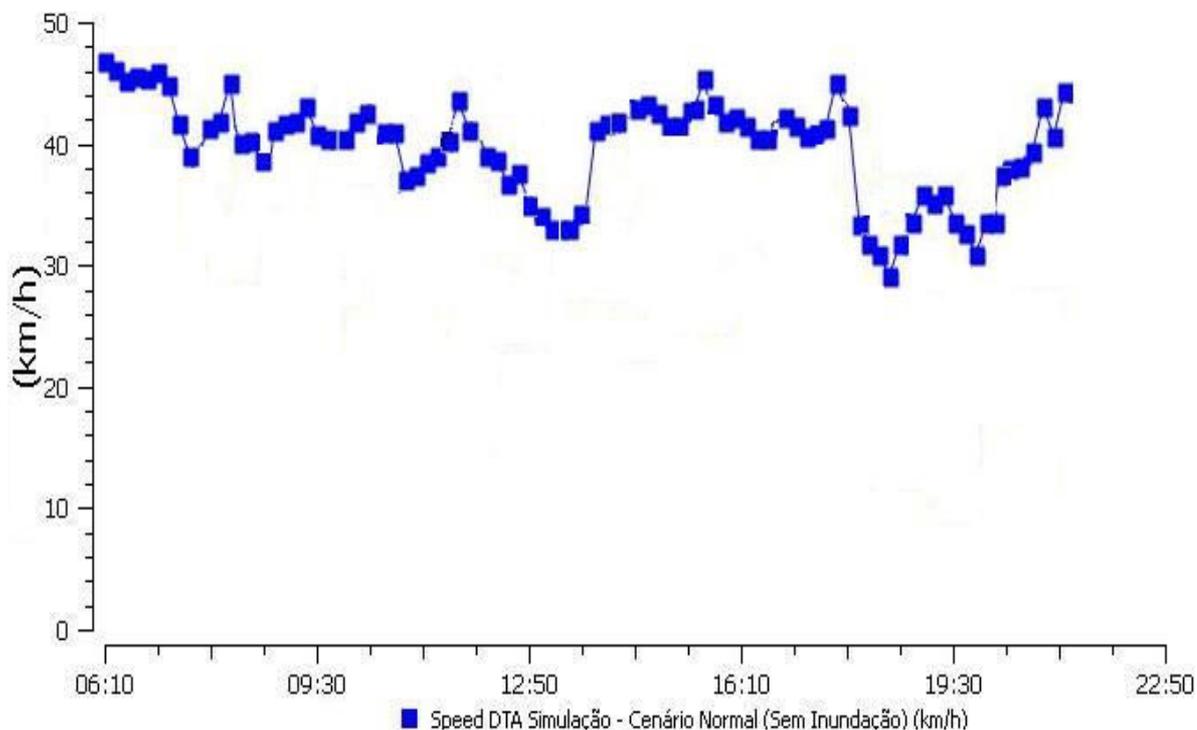


Figura 6.10 - Variação da velocidade média do fluxo de veículos na Região de Venda Nova - Cenário normal

Tabela 6.7 - Tempo médio de paradas e de viagem para a Região de Venda Nova em um dia de trânsito normal

Horário	Tempo médio das paradas – Cenário Normal (seg/km)	Tempo médio de viagem – Cenário Normal (seg/km)
06:00	13	77
07:00	15	80
08:00	47	114
09:00	25	89
10:00	62	129
11:00	38	105
12:00	78	144
13:00	141	210
14:00	153	222
15:00	138	207
16:00	175	246
17:00	208	287
18:00	169	241
19:00	165	236

6.3.2 Impactos das inundações no trânsito

Foram inseridos na simulação de tráfego os bloqueios propostos pela modelagem hidráulica e hidrológica. Inicialmente, os bloqueios não tiveram nenhuma intervenção humana, isto é, o trânsito era bloqueado de acordo apenas com a área atingida pela inundação e os bloqueios tinham durações iguais à duração da inundação. Não foi proposta nesta etapa nenhuma rota de desvio ou bloqueios de vias de trânsito no intuito de mitigar os danos das inundações.

Aqui estão apresentados os resultados relacionados à chuva de projeto crítica de 90 minutos de duração. O tempo de retorno varia em 25, 50 e 100 anos. Após analisados os resultados referentes às inundações sem intervenção humana, propostas de desvios serão apresentadas como parte dos planos de emergência para o trânsito da região. Foi estipulado que o início da inundação provocada pela chuva sintética ocorreria às 17 horas, pois, neste horário, inicia-se um aumento do fluxo de veículos. Este horário foi escolhido por ser próximo ao mais crítico, em se tratando de fluxo de veículos e volume do tráfego da região em estudo, que ocorre às 18 horas. Para as chuvas históricas, o modelo seguiu o horário de ocorrência de tais chuvas. Este estudo será apresentado posteriormente.

Quando ocorre uma inundação, verifica-se que alguns veículos são surpreendidos justamente nos locais inundáveis. O programa AIMSUN não enumera a quantidade de veículos atingidos, mas, em uma análise gráfica do modelo foram contabilizados aproximadamente 150 veículos atingidos diretamente pelas inundações. A Figura 6.11 e a Figura 6.12 mostram bloqueios gerados por uma inundação nos cruzamentos da Avenida Vilarinho com a Avenida Álvaro Camargos e com a Avenida Dois, respectivamente. A inundação nestes dois pontos distintos foi causada pela chuva de projeto de 90 minutos de duração e tempo de retorno de 25 anos.

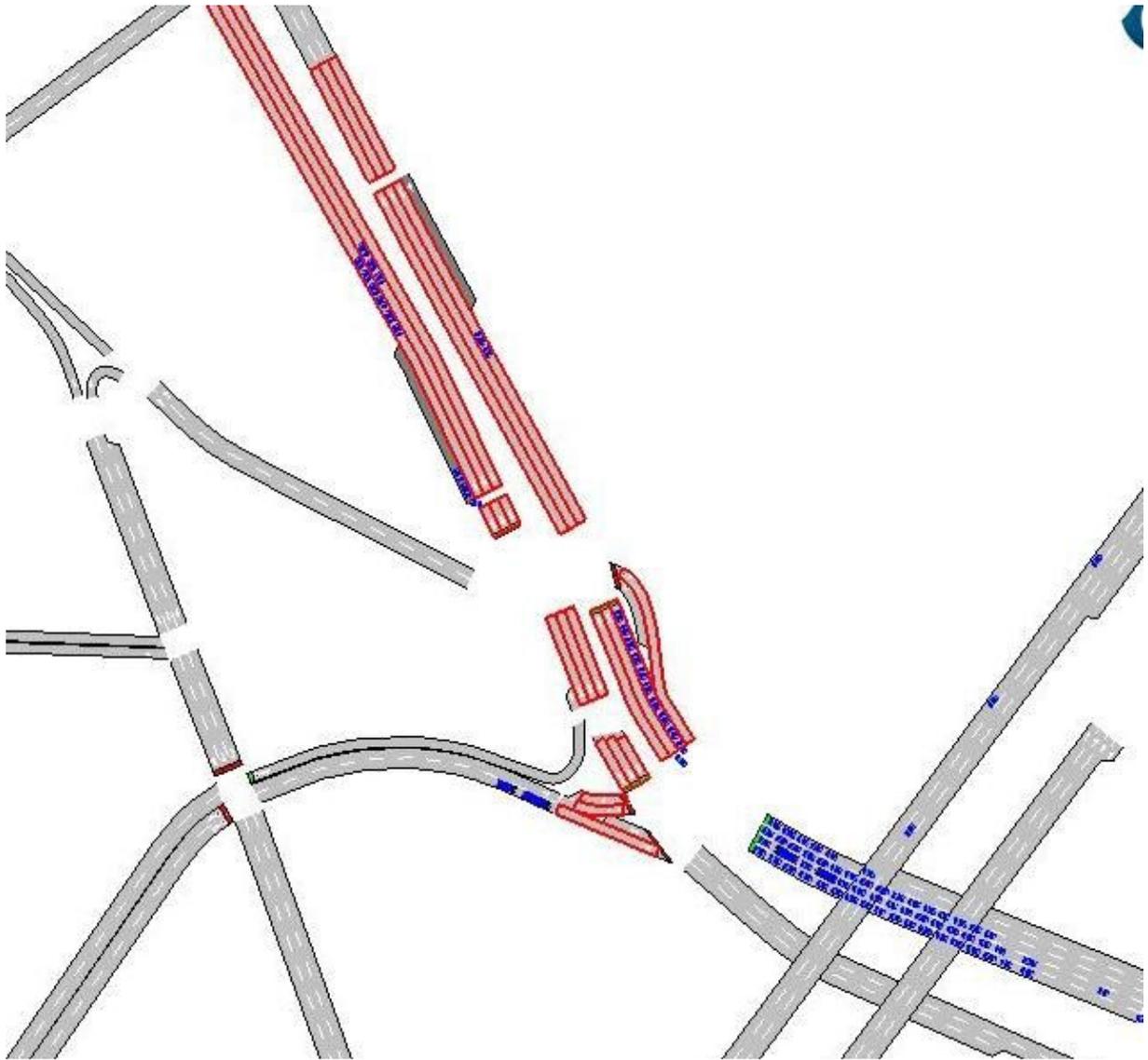


Figura 6.11 - Bloqueios no trânsito gerados por inundações - Avenida Vilarinho, próximo à Avenida Álvaro Camargos

A região em vermelho simboliza o bloqueio na Avenida Vilarinho, junto aos cruzamentos com a Rua Maçon Ribeiro e com a Avenida Álvaro Camargos. Nota-se que alguns veículos estão dentro do bloqueio, o que representa que eles foram atingidos pela inundações. Antes do bloqueio, nota-se o congestionamento formado antes da via bloqueada. É possível perceber que este fato se repetiu em alguns cruzamentos, conforme é ilustrado na Figura 6.12.

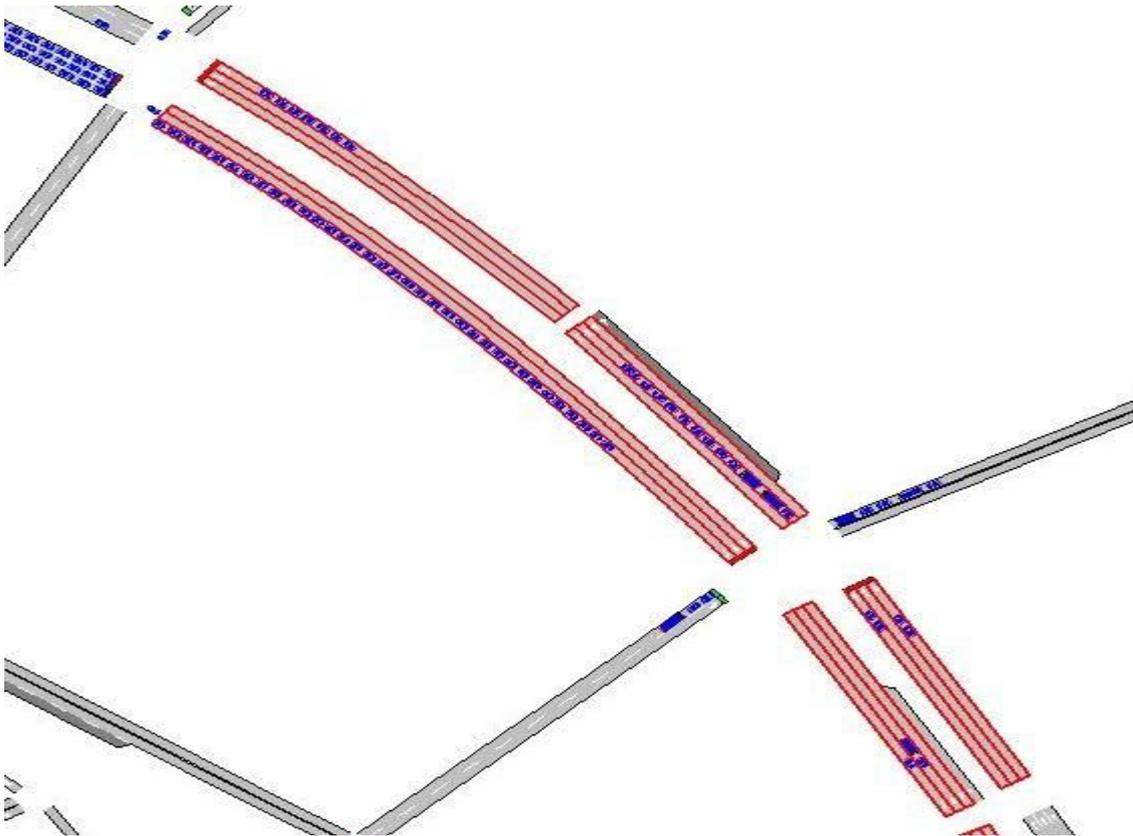


Figura 6.12 - Bloqueios no trânsito gerados por inundação - Avenida Vilarinho, próximo à Avenida Liege

Conforme anteriormente explicado, o modelo não contabiliza o número de veículos inseridos dentro dos bloqueios, representados pelas zonas vermelhas. Estes veículos são aqueles atingidos diretamente pela inundação. Eles representam, além da perda material relacionada aos danos a cada veículo, um considerável risco à vida dos condutores e passageiros. Um exemplo de um episódio semelhante ocorreu na Avenida Prudente de Moraes, junto ao cruzamento com a Rua Joaquim Murтинho, Região Sul de Belo Horizonte. Na noite de 15 de março de 2009, duas pessoas perderam suas vidas quando o carro em que estavam foi submerso rapidamente pelas águas do Córrego Leitão, que passa sob a avenida.

A inundação, em termos gerais, provocou um aumento considerável do consumo de combustível. Em consequência deste fator, houve um aumento acentuado na produção de gases poluentes, como o CO₂. Estes resultados podem ser apreciados nos gráficos apresentados na Figura 6.13 e na Figura 6.14.

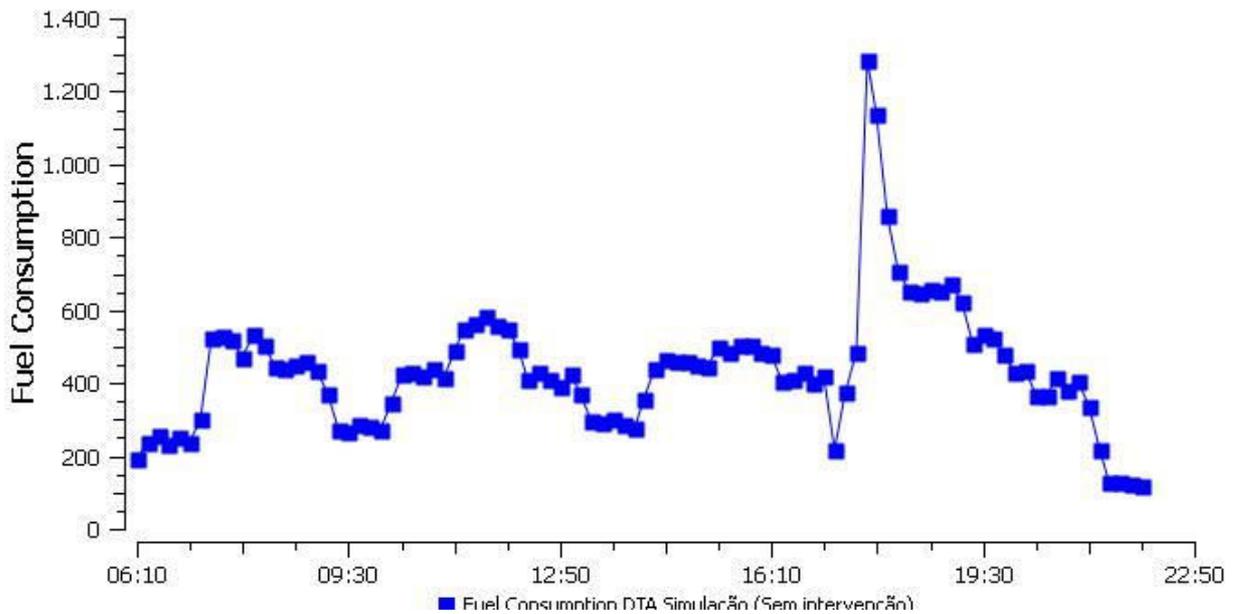


Figura 6.13 - Média do consumo total de combustível - cenário com inundação de 25 anos de tempo de retorno, sem intervenção humana

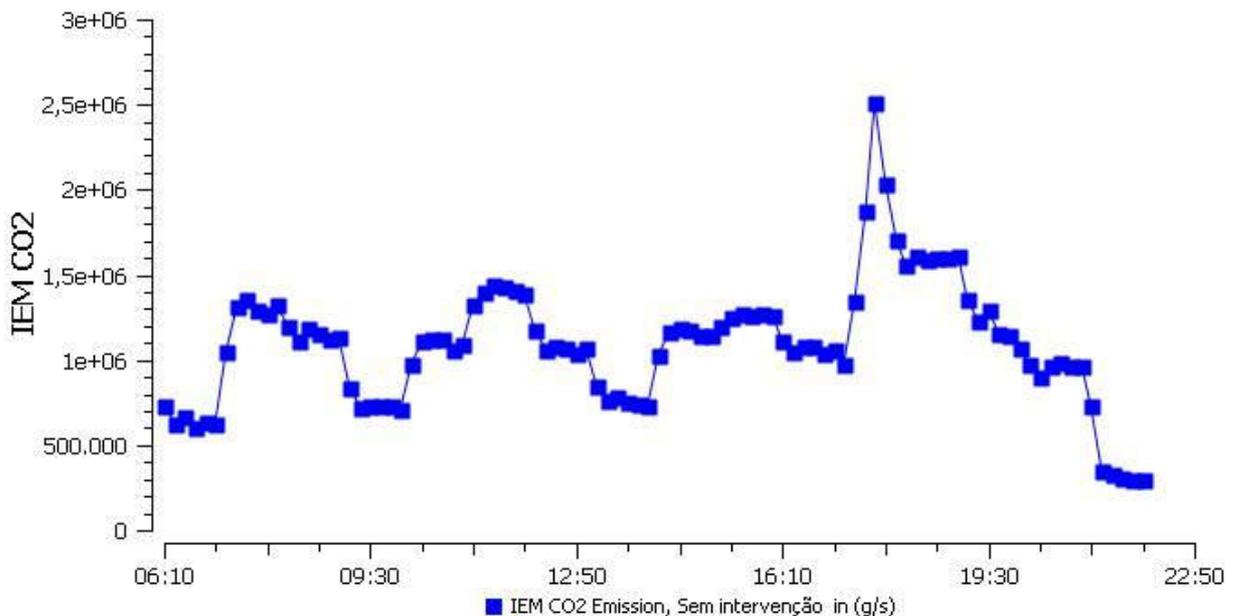


Figura 6.14 - Emissão média de CO₂ - cenário com inundação de 25 anos de tempo de retorno, sem intervenção humana

As tabelas seguintes apresentam a variação das características do trânsito, após as inundações provocadas por eventos sintéticos de 90 minutos de duração, relativos a 25, 50 e 100 anos. Os impactos provocados no trânsito são notáveis e podem se estender por algum tempo após o término da inundação.

Para precipitações de 25 anos de tempo de retorno, os bloqueios às vias de trânsito tiveram início 37 minutos após o início da chuva. Para as precipitações de 50 e 100 anos de período de retorno, as vias passaram a ser bloqueadas respectivamente a partir de 34 e 32 minutos após o início das chuvas. Estes dados podem ser consultados na Tabela 6.2.

As chuvas de tempo de retorno de 25 anos causaram impactos significativos no fluxo de veículos da região. O *software* AIMSUN traduz o fluxo de veículos como sendo a somatória de todos os veículos presentes nas vias modeladas, em intervalos de hora em hora. Para a chuva em questão, as vias passaram a ser bloqueadas pela inundação 30 minutos após o início da chuva, isto é, às 17:30 h. Decorridos 10 minutos de inundação o número de veículos presentes nas vias teve um aumento de 37%. Este aumento do número de veículos no tempo traduz-se em congestionamentos. O fluxo de veículos normalizou-se após as 20 horas e dez minutos. Estes dados são apresentados na Tabela 6.8, assim como aqueles referentes às chuvas de 50 e 100 anos de tempo de retorno.

Tabela 6.8 - Variação percentual do fluxo de veículos na Região de Venda Nova

Fluxo da região (veículos/h)							
Horário	Cenário normal	Cenários com inundação					
		TR = 25 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)	TR = 50 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)	TR = 100 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)
17:30	7614	7228	-5,34	7748	1,73	7930	3,98
17:40	7344	11700	37,23	11976	38,68	8282	11,33
17:50	7542	10998	31,42	10944	31,09	11532	34,60
18:00	7116	9978	28,68	9900	28,12	12372	4248
18:10	7746	8988	13,82	9084	14,73	10584	26,81
18:20	7614	8400	9,36	8574	11,20	9030	15,68
18:30	7692	8418	8,62	8556	10,10	8298	7,30
18:40	6816	8406	18,92	8508	19,89	8640	21,11
18:50	7998	8334	4,03	8298	3,62	8466	5,53
19:00	6588	8550	22,95	8586	23,27	8880	25,81
19:10	7230	7746	6,66	7572	4,52	7806	7,38
19:20	7086	7474	5,19	7618	6,98	7840	9,62
19:30	7566	7900	4,23	8068	6,22	8176	7,46
19:40	8358	8888	5,96	8900	6,09	8984	6,97
19:50	6972	7660	8,98	7684	9,27	7948	12,28
20:00	6858	7210	4,88	7168	4,32	7708	11,03

Quando o número de veículos presentes em uma região aumenta, o consumo de combustível, em litros por hora, tende a aumentar, como é ilustrado pela Tabela 6.9. Desta maneira, a emissão de gases segue a mesma tendência, assim como o tempo médio de paradas e o tempo médio de viagem para a região. Nesta tabela, além do consumo médio de combustível em um dia de trânsito normal, são apresentados os consumos de combustível para inundações causadas por precipitações de tempo de retorno variando entre 25, 50 e 100 anos, com duração de 90 minutos. Foi então calculada a variação percentual do consumo de combustível.

Tabela 6.9 - Variação percentual do consumo médio de combustível na Região de Venda Nova

Consumo médio da região (l/h)							
Horário	Cenário normal	Cenários com inundação					
		TR = 25 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)	TR = 50 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)	TR = 100 anos	Variação em relação ao cenário normal (%)
17:30	876	886	1,24	917	4,53	861	- 1,73
17:40	726	1284	43,43	1355	46,37	826	12,09
17:50	890	1140	21,97	1106	19,54	1570	43,34
18:00	810	860	5,80	895	9,45	1433	43,44
18:10	872	906	3,80	932	6,50	1061	17,80
18:20	817	953	3,79	981	6,55	939	2,39
18:30	987	1049	5,92	1091	9,53	1051	6,08
18:40	764	860	11,15	902	15,32	990	22,84
18:50	944	952	0,89	982	3,89	991	4,82
19:00	778	774	- 0,51	807	3,56	822	5,87

A velocidade média desenvolvida nas vias de tráfego da região diminui consideravelmente durante um evento de inundação. A variação é mostrada graficamente através da Figura 6.15.

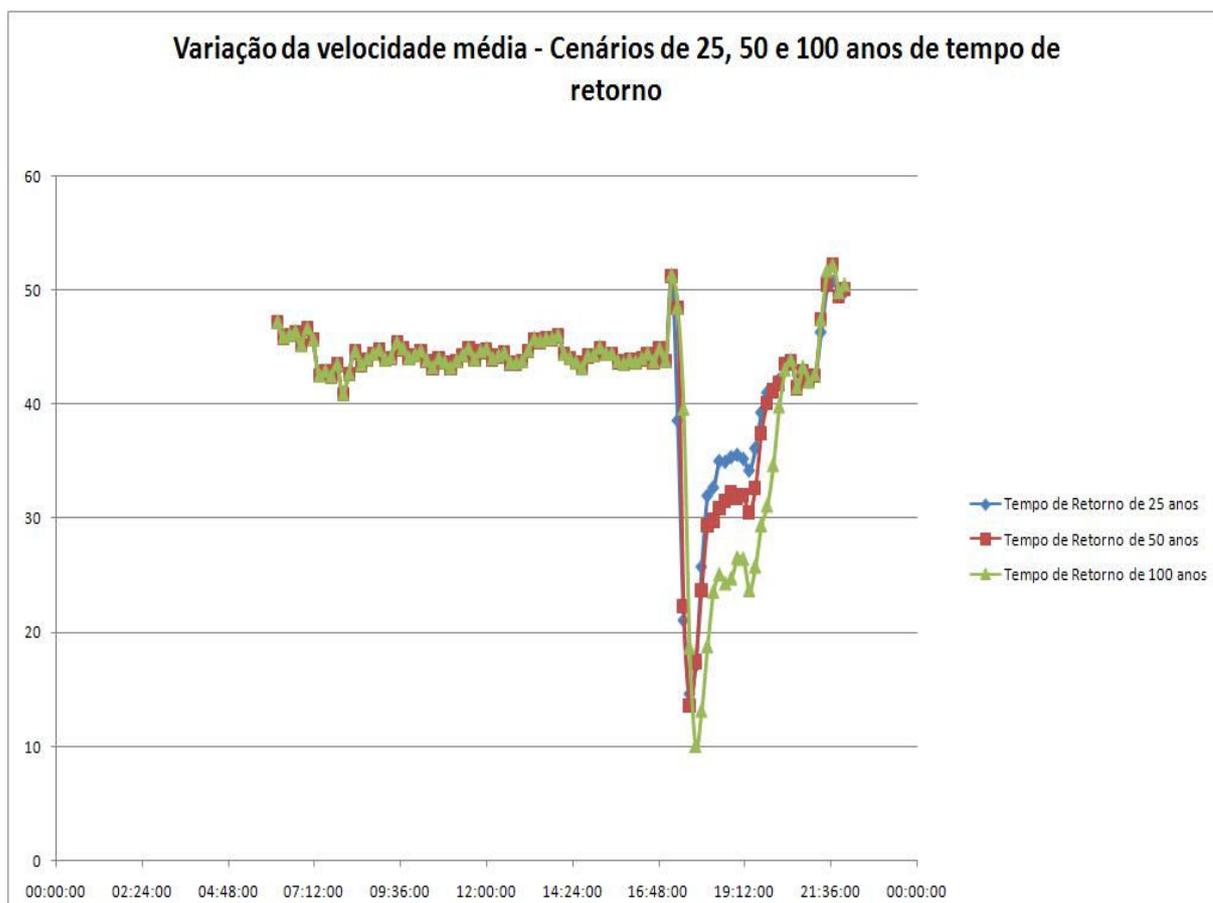


Figura 6.15 - Impactos de inundações sobre a média de velocidade na Região de Venda Nova

Ao analisar a Tabela 6.2, é possível concluir que as vias atingidas serão praticamente as mesmas para qualquer tempo de retorno analisado. Os bloqueios impostos pelas inundações a estas vias variam principalmente quanto à duração da inundação. Foram modelados bloqueios ao trânsito para as inundações provocadas por chuvas de projeto de 25, 50 e 100 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração. Para as demais chuvas, não se fez necessária a modelagem do tráfego, uma vez que os impactos seriam semelhantes. O modelo simulou também os impactos causados pela inundação histórica de janeiro de 1994. Estes resultados são suficientes para avaliar os impactos das inundações ao trânsito.

No modelo de tráfego foram propostas intervenções no caso de ocorrência de inundações. Estas intervenções desviaram o trânsito das vias bloqueadas, fazendo com que os condutores usassem rotas alternativas. As rotas escolhidas são aquelas de maior importância quanto ao fluxo de veículos da região, isto é, aquelas rotas essenciais para escoar o tráfego nos sentidos bairro – centro e centro – bairro.

Os resultados do modelo de tráfego mostraram que, mesmo sendo inseridos desvios, o impacto de uma inundação ao trânsito é considerável. Formaram-se congestionamentos próximos às áreas inundadas. Como esperado, os desvios diminuíram a intensidade dos congestionamentos próximos às vias principais, porém, formaram-se congestionamentos pelas rotas alternativas.

Resumidamente, pode-se dizer que os desvios minimizaram os impactos no trânsito, conforme mostrado na Figura 6.16. Houve redução no consumo de combustíveis e na emissão de gases, quando comparados aos resultados desta inundação sem intervenção humana. Outros resultados também mostraram melhora, como a velocidade média desenvolvida na região.

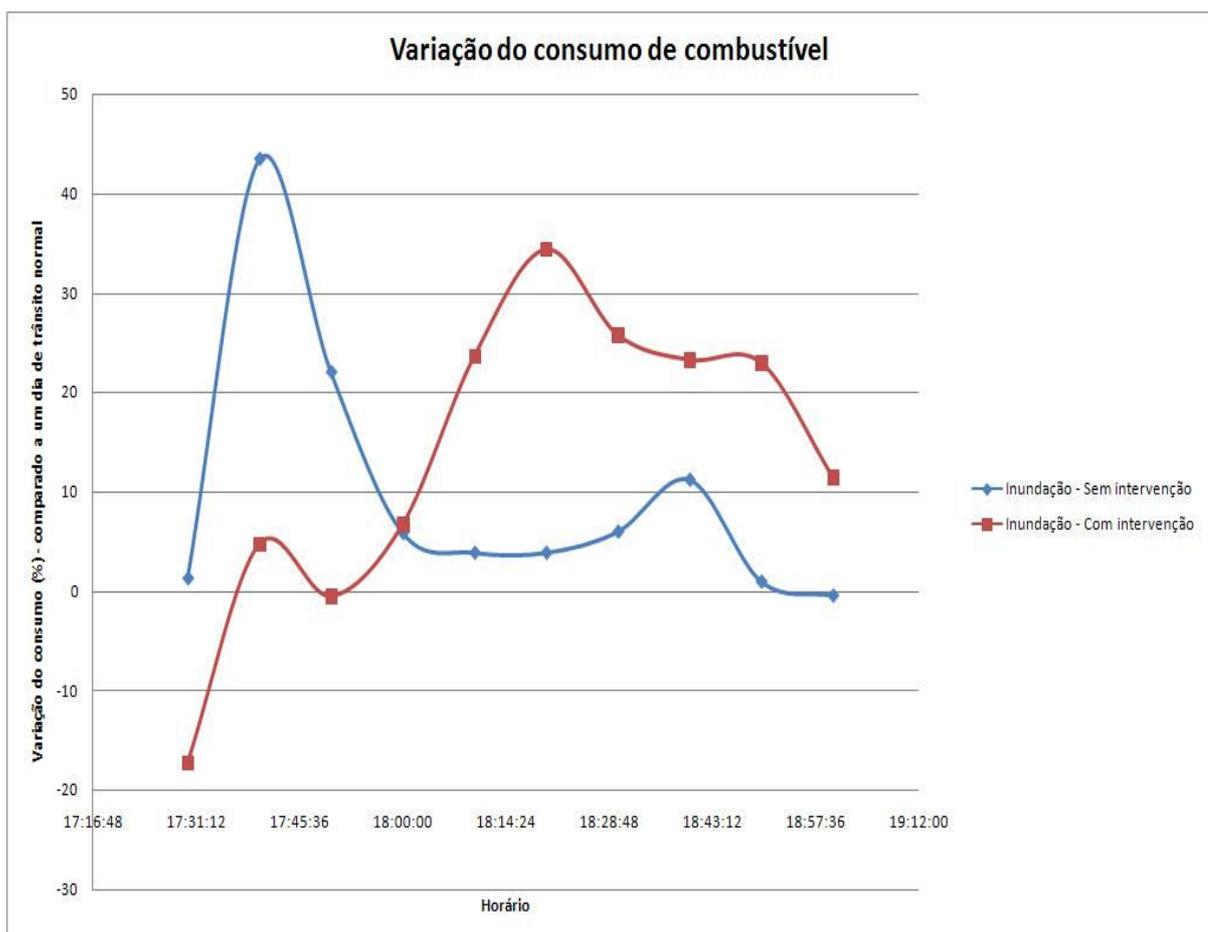


Figura 6.16 - Variação do consumo de combustível - eventos de inundações com e sem intervenção ao trânsito

Porém, tais resultados, quando comparados a um dia de trânsito normal, mostram que mesmo com os desvios, o impacto da inundação no trânsito é considerável. O que se pode destacar é o número de carros atingidos diretamente pela inundação. Quando os desvios entraram em vigor

juntamente com o início da inundação, o número de carros diretamente atingidos caiu aproximadamente 50%. Quando os desvios entraram em operação com uma antecedência de dez minutos, houve uma redução aproximada de 80% no número de veículos atingidos. A Figura 6.17 mostra o cruzamento da Avenida Vilarinho com a Avenida Álvaro Camargos, após o início da inundação, com os desvios propostos com antecedência de 10 minutos em relação ao início da inundação. Observam-se poucos veículos atingidos diretamente pela inundação.

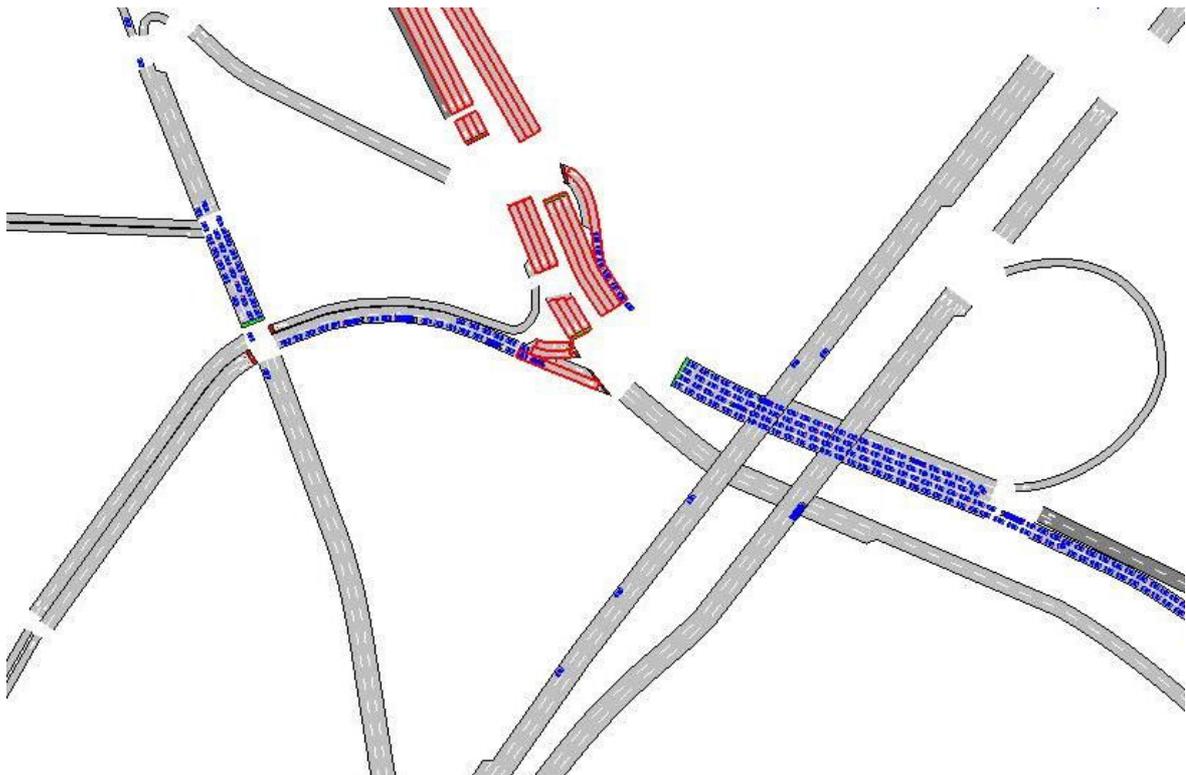


Figura 6.17 - Avenida Vilarinho - trânsito desviado com 10 minutos de antecedência à inundação

Alguns custos podem ser então estimados, de acordo com a metodologia proposta por Cançado (2009). Os custos gerados pela inundação histórica de janeiro de 1994, em relação à emissão de poluentes e ao consumo de combustível, foram calculados considerando-se a intervenção ou não do homem, por meio da implementação de desvios. Os resultados são apresentados pela Tabela 6.10 e pela

Tabela 6.11.

A intervenção aqui imposta ao trânsito é basicamente a implantação de desvios impedindo o tráfego nas regiões inundadas. Os desvios aqui propostos foram implantados com uma antecedência de 10 minutos e relação ao início da inundação. Pode-se observar que, mesmo com as intervenções no trânsito, os danos monetários causados pela inundação continuaram expressivos.

Tabela 6.10 - Variação da emissão de gases e consumo de combustível para cenários de inundação distintos

Cenário	Tempo para se percorrer 1,0 km (seg)	Emissões médias (t/h)		Consumo de combustível (l/h)
		CO	NOx	
Sem inundação	43	12.526	5,7	9.978
Inundação às 18:00 h – sem intervenção	127	71.914	59,3	18.570
Inundação às 18:00 h – com intervenção	108	67.991	55	15.003

Tabela 6.11 - Variação dos custos relacionados ao trânsito em cenários de inundação distintos

Cenário	Custo total das viagens, por hora (R\$ x 1000)	Custo médio das emissões por hora		Custo do consumo de combustíveis por hora (R\$ x 1000)
		CO	NOx	
Sem inundação	8,15	7.023,57	57,71	19,97
Inundação às 18:00 h – sem intervenção	25,01	31.002,98	671,06	37,77
Inundação às 18:00 h – com intervenção	21,66	28.811,70	595,01	35,63

O impacto causado ao trânsito por uma inundação pôde ser bem quantificado através dos valores monetários agregados, sugerido por Cançado (2009). É importante observar que as intervenções aqui impostas ao tráfego não reduziram significativamente os custos oriundos de um evento de inundação.

6.4 Plano de contingência de inundações para o trânsito

Para se minimizar os efeitos de inundações ao trânsito é necessário que haja procedimentos para uma melhor resposta a eventos de inundações, tanto da população quanto dos órgãos administrativos. Um plano de emergência para o trânsito se faz necessário neste sentido. Este planejamento, além de mitigar os danos de uma inundação, pode preservar vidas, sendo este seu principal objetivo.

Este plano de emergência traz uma adaptação para o trânsito do Plano de Contingência para Áreas de Risco de Escorregamento de Encostas e de Inundações no Município de Belo Horizonte (PBH, 2008) e do Escopo para a Elaboração do Plano de Contingência de Inundações para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas (Nascimento, 2011). Este plano baseia-se em ações de prevenção, alerta e emergência.

6.4.1 Prevenção de inundações ao trânsito

A prevenção de inundações ao trânsito pode ser tratada como um conjunto de ações implementadas pelos órgãos administrativos responsáveis, como a PBH e a BHTrans. A prevenção irá focar medidas de mitigação dos impactos das inundações ao trânsito. As medidas de prevenção são tomadas sem que seja necessária a previsão da ocorrência iminente de algum evento crítico.

Em Belo Horizonte, algumas medidas neste sentido já estão sendo implantadas, como a sinalização de áreas de risco de inundação por placas indicativas, conforme ilustrado na Figura 6.18. A sinalização destas áreas é baseada na Carta de Inundações de Belo Horizonte (PBH, 2008). As placas indicativas devem trazer informações sobre como deixar as vias em situação de risco, isto é, informar as rotas de fuga destas vias. Além destas informações, também é útil informar os contatos das equipes de emergência, como a Defesa Civil e o Corpo de Bombeiros.



Figura 6.18 - Sinalização de áreas de risco, com indicação de rotas de fuga e telefones das equipes de emergência - Avenida Tereza Cristina, Belo Horizonte (Nascimento, 2011)

Outras importantes medidas de prevenção de inundações que não estão diretamente associadas ao trânsito podem minimizar os impactos a ele. Entre elas, podem-se citar:

- Limpeza urbana focada em remoção de detritos nas calhas dos cursos d'água e em áreas adjacentes, antes do início do período de chuvas. Este procedimento reduz a ocorrência de insuficiência no sistema de macrodrenagem por obstrução por depósitos de sedimentos e de lixo;
- Limpeza contínua de bueiros e bocas-de-lobo. Em algumas ocasiões, há formação de alagamentos antes mesmo que o curso d'água venha a transbordar. Isto ocorre principalmente devido ao mau funcionamento do sistema de microdrenagem das águas pluviais, o que pode ocorrer em razão de problemas de projeto (insuficiência do sistema), obstrução por resíduos sólidos ou, naturalmente, quando o evento supera a capacidade do sistema estabelecida em projeto;

- Controle da vegetação, como poda sistemática da vegetação nas margens dos córregos em leito natural, facilitando o escoamento das águas;
- Manutenção das margens dos córregos em leito natural, evitando erosões e prevenindo assoreamentos;
- Criação de parques nas planícies de inundação, evitando assim a ocupação ilegal em áreas de risco. Alguns córregos afluentes do Córrego Vilarinho possuem áreas onde tais parques poderiam ser criados;
- Acesso à informação e educação da população envolvida, promovendo uma melhor resposta quanto à conservação, manutenção e monitoramento do sistema urbano de drenagem.

Além dessas medidas, é necessário que os órgãos administrativos da cidade disponibilizem atendimento a situações emergenciais em tempo integral, todos os dias da semana, inclusive feriados. A BHTRANS deve sinalizar as vias que por ventura não oferecerem segurança durante as chuvas. É também responsabilidade da BHTRANS informar quais melhores rotas de fuga deverão ser tomadas e garantir a fluidez do tráfego por elas nos momentos de crise.

Tanto a PBH quanto a BHTRANS devem manter aberto os contatos com os órgãos de previsão meteorológica. Além da previsão, a construção sistemática de uma base de dados consistente de chuvas e inundações deve estar disponibilizada, não só para as instituições públicas, mas também para qualquer parte interessada.

Pode-se criar um mapa viário, contendo as vias principais e as principais vias locais, que mostre os locais de maior risco de inundação e as principais rotas de fuga. Este mapa poderá ser baseado em modelos hidráulicos e hidrológicos, na própria Carta de Inundação de Belo Horizonte e em eventos históricos registrados.

Para que a população tome as medidas corretas em caso de desastres, principalmente tratando-se do trânsito, é preciso que, além da disponibilização da informação, sejam realizados treinamentos de campo. Em situações de crise, a resposta da população, assim como dos órgãos responsáveis pelas medidas emergenciais, será mais rápida e precisa caso tenham ocorridos treinamentos ante ao desastre.

6.4.2 Sistema de alerta

Os sistemas de alerta podem entrar em funcionamento antes, durante e depois de uma inundação. Quando o alerta é dado com antecedência, os resultados quanto à minimização dos danos é consideravelmente melhor. Porém a antecedência acarreta a incerteza quanto à confiabilidade do sistema, além de poder gerar impactos desnecessários, caso o evento não venha a acontecer. Portanto, para que os alertas possam ser dados com antecedência é preciso que os sistemas de monitoramento meteorológico sejam eficazes. Em Belo Horizonte não há radares meteorológicos. Para chuvas frontais, o sistema de previsão meteorológica pode ser suficiente e avisar os órgãos responsáveis pelos alertas com certa antecedência. Porém, para chuvas convectivas, de formação rápida, a previsão sem auxílio de radares meteorológicos é inexata.

Os alertas emitidos durante e depois da inundação podem evitar que motoristas realizem determinados trajetos, ou induzi-los a adiarem sua viagem. Estes alertas são tão importantes quanto os alertas antecipados e têm a vantagem de não estarem associados a incertezas.

Os alertas podem ser emitidos a toda população da região ou apenas aos órgãos responsáveis pelos procedimentos do plano de contingência. Caso seja necessário avisar a todos, os alertas e avisos podem ser dados através de painéis de mensagem variável (PMV), conforme ilustrado na Figura 6.19. Também podem ser emitidos por rádio, ou até mesmo via mensagens de telefones celulares.



Figura 6.19 - Painel de Mensagem Variável (PMV)

6.4.3 Emergência

As ações de emergência entram em vigor durante um evento crítico e terminam apenas depois de estabelecida a segurança mínima na região. Para o trânsito, as seguintes ações de emergência durante inundações são necessárias:

- Mobilização de equipes de coordenação do trânsito formadas por agentes da BHTrans, Polícia Militar e Defesa Civil;
- Interrupção do tráfego em vias atingidas por inundação ou com alagamentos, como também nas vias de acesso a estas mencionadas;
- Coordenação e controle das rotas de desvio;
- Busca e resgate a pessoas presas em seus veículos ou em veículos de transporte público;
- Prestação de assistência médica;
- Evacuação de áreas a jusante que ainda não foram atingidas mas que se situam em zonas de risco.

Após a inundação, as seguintes medidas devem ser tomadas o mais rápido possível, assim que se estabelecer a segurança dos locais atingidos, desde que não haja previsão de recorrência de eventos perigosos:

- Limpeza completa de ruas e calçadas atingidas, assim como de bueiros e bocas-de-lobo;
- Remoção de carros que por ventura foram arrastados pelas correntezas;
- Restabelecimento imediato da sinalização danificada das vias, assim como o funcionamento dos semáforos;
- Interdição temporária às vias que tiveram sua infra-estrutura atingida;
- Recuperação de calçadas, calçamentos, margens e canais danificados.

Com a aplicação destas medidas, é esperado que os danos de inundações ao trânsito e às pessoas nele contidas seja significativamente reduzido.

7 Conclusões e recomendações

O Córrego Vilarinho se mostra bastante suscetível a inundações rápidas, causadas por chuvas convectivas. As simulações realizadas indicam que precipitações de recorrência intermediária, como as chuvas de 25 anos de tempo de retorno, provocaram inundações em vários trechos deste córrego. Conforme os resultados obtidos por essas simulações, as precipitações mais curtas, de uma hora ou uma hora e meia de duração, oferecem um maior risco, por serem mais concentradas. O trecho a jusante da bacia é bastante vulnerável e, através da modelagem hidráulica e hidrológica, apresentou inundação para chuvas de até três horas de duração. Este trecho localiza-se na confluência entre os córregos Vilarinho e 12 de Outubro.

A calha do Córrego Vilarinho não possui suficiência hidráulica para escoar cheias resultantes de eventos mais intensos. Houve uma forte urbanização da região nos últimos 20 anos, acarretando uma maior taxa de impermeabilização do solo. Esta impermeabilização, além de não permitir que uma parte da chuva infiltre no solo, aumenta a velocidade de escoamento das águas. Isto faz com que os escoamentos atinjam os cursos d'água em curto tempo, reduzindo sobremaneira o tempo de resposta da bacia. Alguns córregos em leito natural também apresentaram ocorrência de inundações, como o Córrego Capão. Os córregos em leito natural localizam-se em áreas com menor taxa de urbanização e não são margeados por vias importantes para o trânsito da Região de Venda Nova.

Medidas estruturais, como o alargamento da calha do córrego, são onerosas e de difícil execução. Além destes fatores, tais medidas afetariam substancialmente o trânsito da região, já que a Avenida Vilarinho, responsável pela maior parte do fluxo de veículos da região, seria fortemente impactada durante as obras. Medidas não estruturais são cabíveis para fazer face ao problema de inundação, porém, tais medidas não têm como objetivo diminuir a ocorrência das inundações, mas sim mitigar os efeitos decorrentes a elas. A participação da população envolvida é importante, como também dos órgãos administrativos responsáveis como a Prefeitura e a Defesa Civil.

A disponibilidade de dados hidráulicos e hidrológicos é importante, principalmente, no que se diz respeito à aferição dos modelos. Foi observado que dados como a vazão nos canais e a variação do nível d'água nestes são raros, quando existem. Os órgãos administrativos, por outro lado, não detêm um histórico bem organizado de índices pluviométricos, com o qual seria possível entender a variação do comportamento hidráulico e hidrológico da região.

Além do problema de organização e disponibilização de informações hidráulicas e hidrológicas, há ainda pouco investimento em tecnologia para medições de parâmetros relacionados a estes campos. Na Região de Venda Nova, não há medição de nível dos canais nem da vazão dos mesmos. Apesar de haver tecnologia para aquisição de tais dados, como medidores ultra-sônicos de nível ou medidores de vazão por telemetria, poucos investimentos são feitos neste sentido, principalmente tratando-se de iniciativas públicas.

A dificuldade na obtenção de dados relacionados ao tráfego na região ocorreu da mesma forma. Dados de fluxo de veículos possuem defasagem temporal de até 10 anos para um mesmo cruzamento. A frota de veículos de Belo Horizonte apresenta um crescimento significativo, porém as pesquisas realizadas com intuito de compreender como se dá este crescimento se mostram precárias.

O trânsito de Belo Horizonte como um todo está saturado. O crescimento da frota de veículos da cidade é acentuado, conforme foi elucidado neste trabalho. O impacto de uma inundação no trânsito pode refletir-se por quilômetros além da área diretamente afetada.

A Avenida Vilarinho sofre constantemente com problemas oriundos de inundações. Veículos são surpreendidos pelo rápido transbordamento do córrego, colocando vidas humanas em risco. A formação de congestionamentos devido a bloqueios impostos por inundações foi averiguada através da modelagem de trânsito. A rota alternativa à Avenida Vilarinho é a Rua Padre Pedro Pinto. Os desvios propostos foram satisfatórios quando observado o número de veículos atingidos diretamente por uma inundação.

Em Belo Horizonte, alguns desvios são sugeridos aos condutores através de avisos, por meio de placas. Há uma variação significativa na mensagem dos avisos implantados pela prefeitura. Alguns ressaltam o perigo de manter veículos estacionados. Outros sugerem rotas seguras, ao invés de rotas sob risco de inundação. Todos os avisos trazem telefones de emergência do corpo de Bombeiros e da Defesa Civil.

Apesar de ser uma iniciativa no âmbito do plano de alerta das inundações, estes avisos não são suficientes para estabelecer um nível de segurança satisfatório nas regiões inundáveis. Ao utilizar apenas tais placas, fica a cargo dos motoristas e da população mensurar o que seria uma “chuva forte”. Até para profissionais do ramo da hidrologia é difícil saber, naquele exato momento, se a chuva tem intensidade suficiente para causar inundação.

Os avisos de área de risco são importantes, porém não são suficientes. Avisos luminosos podem ser utilizados juntamente com as placas. Estes avisos podem transmitir informações em tempo real do estado das vias de trânsito, como rotas que estão inundadas ou aquelas que estão sob o risco de inundação. As pessoas que estão em movimento são então capazes de tomar decisões importantes, como mudança de rota ou adiamento da viagem. Belo Horizonte possui alguns painéis de mensagem variável. Porém, o número de painéis não é suficiente para cobrir todas as áreas de risco. Por enquanto, estes painéis não são utilizados para alertar sobre áreas inundadas ou sob risco de inundação. Estes painéis não foram concebidos para tal finalidade. Uma nova rede de painéis deve ser criada para este fim, e eles devem ser dispostos em pontos estratégicos para que se tenham melhores respostas no trânsito.

A sinalização luminosa pode também disponibilizar informações sobre a meteorologia. Caso a cidade possua um radar meteorológico, pode-se supor o aumento da capacidade de previsão e a agregação de informações importantes, como por exemplo o deslocamento de células convectivas e estimativas de volume de precipitação. O radar meteorológico associado a informações do estado do sistema de drenagem (e.g.: precipitação observada, níveis d'água em cursos d'água e em áreas de armazenamento...) pode permitir um aumento significativo em antecedência da previsão, contribuindo para aprimorar a decisão sobre o alerta e intervenções no sistema, como a gestão do trânsito.

O tempo de antecedência do alerta é importante. Por meio da modelagem de trânsito pôde-se constatar que quando os desvios são impostos juntamente com o início de uma inundação, veículos são diretamente atingidos. Quando os desvios são impostos com uma antecedência mínima de dez minutos, não se constata veículos atingidos diretamente pela inundação, a exceção provável de veículos estacionados nas vias ou em garagens, sendo que estes não foram simulados neste trabalho. Os desvios impostos com antecedência superior a 10 minutos podem gerar impactos negativos no trânsito, como a formação antecipada de congestionamentos. Além disso, podem-se ocorrer falsos alertas, o que acarretaria em queda da confiabilidade da população no sistema.

Para aumentar a confiabilidade dos sistemas de alerta, os sistemas de previsão devem ser melhorados com a implementação de tecnologias como os radares meteorológicos. Além do radar meteorológico, o monitoramento do nível dos córregos é importante para se ampliar a

antecedência de um alerta e reduzir a ocorrência de falsos alertas. A definição de rotas de fuga também facilita a tomada de decisão dos motoristas.

O planejamento de contingência deve conter guias de plano de emergência. Estes guias devem fornecer o maior número de informações possíveis. Eles devem ser disponibilizados para a população envolvida ou, ao menos, para seus representantes. Nos guias de plano de emergência, alguns pontos fundamentais que são frequentemente enfatizados incluem:

- Comando: uma cadeia de comando clara é necessária para evitar a duplicação de esforços e falta de ações vitais, e para comunicar a informação do público e a mídia;
- Contatos: comunicação regular entre os organismos envolvidos, através de exercícios e treinamento;
- Saúde e segurança: além do risco de afogamento, as águas de inundação apresentam uma série de outros riscos, incluindo doenças de veiculação hídrica e disseminação de materiais perigosos, como combustíveis, produtos químicos e esgoto. Portanto, procedimentos rigorosos, equipamentos de segurança e instalações de descontaminação se fazem necessários;
- Resiliência: os planos devem ser suficientemente flexíveis para lidar com eventos extremos, com planos de contingência em caso de falha de qualquer componente;
- Determinação de grupos vulneráveis: regimes especiais para pessoas com deficiência física ou de uma sob condições médicas, idosos e outros que são dependentes, como crianças;
- Populações transientes: planos para residentes temporários das áreas de risco, incluindo turistas, viajantes de negócios, usuários das vias de trânsito, população estudantil e outros;
- Envolvimento da comunidade: estimular a participação de membros da comunidade no desenvolvimento de planos de emergência, garantindo que estes são adaptados às suas próprias necessidades e recursos.

Esta pesquisa, portanto, é o ponto de partida para um trabalho a ser aprofundado. Dois problemas atuais, o trânsito e as inundações, estão se intensificando a cada dia no cotidiano da cidade. A abordagem conjunta destes assuntos é importante para que haja uma melhoria contínua da administração e do planejamento das cidades.

8 Referências Bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA – *Águas e energia elétrica: Atendimento aos municípios*, Periódicos, Ano 6, n. 19. Fevereiro, 2000. 86 p.

ALEXANDER, D. E. *Principles of emergency planning and management* – Terra Publishing. England, 2002. 340 p.

ANDRES, J. G.; LHOMME, J.; WEISGERBER, A.; COOPER, A.; GOULDBY, B. *Testing and application of a practical new 2D hydrodynamic model*. Flood Risk Management Research and Practice – Londres, 2009. p 31-40.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. Secretaria Nacional de Defesa Civil. *Ocorrências de Inundações*. 2009. [HTTP://www.defesacivil.gov.br/desastres/index.asp](http://www.defesacivil.gov.br/desastres/index.asp) - Último acesso em março de 2009.

BRAZ, A. - “Chuva causa caos na zona sul” – Portal UAI – http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/10/08/em_noticia_interna.id_sessao=2&id_noticia=130980/em_noticia_interna.shtml - Último acesso em novembro de 2009.

BRUZELIUS, N. *The Value of Travel Time*, The Economic Journal, Vol. 90, pp. 405-407. London, 1980.

CANÇADO, V. L. *Consequências Econômicas das Inundações e Vulnerabilidade: Desenvolvimento de metodologia para a avaliação do impacto nos domicílios e na cidade*. Tese (doutorado no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFMG, Escola de Engenharia, 2009.

CANHOLI, A. P. *Drenagem Urbana: Controle de Enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. 302 p.

CASTRO, L. M. A. *Proposição de metodologia para a avaliação dos efeitos da urbanização nos corpos d'água*. Tese (doutorado no Programa de Pós Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – UFMG, Escola de Engenharia, 2007.

COBRAPE – Companhia Brasileira de Projetos e Empreendimentos. Modelo CAbc: modelagem hidráulica e hidrológica da Bacia do Córrego Vilarinho. 2008.

DELGADO, P. R. *Processos de inundação e situação de risco ambiental*. Sanare - SANEPAR, Curitiba, v.13, n. 13, p. 59-64. Paraná, 2000.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE TRÂNSITO – DENATRAN. *Dados de emplacamentos de veículos por município*. Disponível em <http://www.denatran.gov.br>. Último acesso em novembro de 2010.

DOURADO, D. A. F. *Gerenciamento de tráfego em tempo real*. Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2007. 188 p.

EMPRESA DE TRANSPORTES E TRÂNSITO DE BELO HORIZONTE – BHTRANS. *Pesquisa de contagem classificada de veículos*. 2000 a 2008.

ENOMOTO, C. F. *Método para elaboração de mapas de inundação* – Estudo de caso na Bacia do Palmital, Paraná. 2004. Dissertação (Mestrado no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná – setor de Tecnologia, Curitiba, 2004.

FEDERAÇÃO NACIONAL DE DISTRIBUIÇÃO DE VEÍCULOS AUTOMOTORES – FENABRAVE. Artigos e estudos. Disponível em <http://www.fenabrave.or.br>. Último acesso em dezembro de 2010.

FELDMAN, A. D. *Assessment of Forecast Technology To Flood Control Operation*. In ROSSI, G.; HARMANCIOGLU, N.; YEVJEVICH, V. *Coping With Floods* – Colorado State University, Civil Engineering Department, 1994, p. 445-458.

FLEMING, G.; FROST, L. *Flooding and Flood Estimation*. In: FLEMING, G. *Flood Risk Management* – Thomas Telford Ltd, 2002, 280 p.

FRANK, B. Projeto Crise. *Estratégias e Ações Frente a Desastres Naturais*, Salvador, n. 4, p. 29-46, nov. 1987.

FUNDAÇÃO EDUCACIONAL E CULTURAL METROPOLITANA – FECM-BH. *Políticas de saneamento - “Solo impermeável, população vulnerável”* Disponível em http://www.metro.org.br/andre_samuel/solo-impermeavel-populacao-vulneravel - Último acesso em maio de 2009.

FURTADO, A. – “*Chuva causa caos na zona sul*” – Portal UAI – http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/10/08/em_noticia_interna,id_sessao=2&id_noticia=130980/em_noticia_interna.shtml - Último acesso em 16/11/09.

GASTAL, A. Efeitos sociais e econômicos dos recentes grandes desastres naturais na América Latina e a necessidade de preveni-los. *Estratégias e Ações Frente a Desastres Naturais*, Salvador, n. 2, p. 12-16, nov. 1987.

GOERL, R. F.; KOBIYAMA, M. *Considerações sobre as inundações no Brasil*. In: Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. João Pessoa – PB. 2005.

HOSSAIN, M. S.; DAVIES, C. G. *A GIS to Reduce Flood Impact on Road Transportation Systems*. In: ESRI International User Conference. San Diego, California, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000*: Atlas de saneamento. Disponível em <http://ww.ibge.gov.br/>. Último acesso em janeiro de 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Perfil dos Municípios Brasileiros: Meio Ambiente – 2002*. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/>. Último acesso em janeiro de 2011.

INTEGRATION Rel. 2.30 for Windows - User's Guide, Volume I: Fundamental Model Features, M. Van Aerde & Assoc., (2005), Ltd., Blacksburg, Virginia. <http://filebox.vt.edu/users/hrakha/Software.htm>. Acessado em novembro, 2009.

LOBATO, P. H., *PBH vai investir em radar meteorológico*. Estado de Minas. http://www.uai.com.br/UAI/html/sessao_2/2009/01/26/em_noticia_interna,id_sessao=2&id_noticia=96708/em_noticia_interna.shtml. Portal Uai. Último acesso em maio, 2009.

LOBATO, P. H., *Frota de Belo Horizonte cresce 7 vezes mais que a população em 10 anos*. http://www.uai.com.br/htmls/app/noticia173/2010/02/21/noticia_minas,i=152377/. Estado de Minas. Portal Uai. Último acesso em outubro, 2010.

LIRA, V. *Desenvolvimento de Tecnologia de Manejo de Águas Pluviais: Modelagem hidrológica da Bacia do Vilarinho*, Belo Horizonte, MG. Relatório CNPQ – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 19 p.

MACHADO, M. L.; NASCIMENTO, N.; BAPTISTA, M. *Curvas de Danos de Inundação versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia*. Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – UFMG. Belo Horizonte, 2005. 20 p.

MACHADO, M. L. *Curvas de Inundação versus Profundidade de Submersão: Desenvolvimento de Metodologia – Estudo de Caso da Bacia do Rio Sapucaí, Itajubá – MG*. 2005. 2 v. Tese. (Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MAKSIMOVIC, C.; TODOROVIC, Z.; BRAGA, B. P. F. *Urban Drainage Problems in the Humid Tropics*. Hydrology of Warm Humid Regions – Yokohama Symposium. Japan, 1993. p. 377-401.

MAKSIMOVIC, C. *General Overview of Urban Drainage Principles and Practice – Urban Drainage in Specific Climates*. UNESCO. Paris, 2001. Vol. 1, p. 1-21.

MARCO, J. B. *Flood risk mapping*. In: ROSSI, G.; HARMANCIOGLU, N.; YEJVJEVICH, V. *Coping With Floods*. Colorado State University, Civil Engineering Department, 1994, 776 p.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia Estatística*. Serviço Geológico do Brasil – CPRM – Belo Horizonte, 2007. 552 p.

NASCIMENTO, N. O. *Escopo para a elaboração do plano de contingência de inundações para a Bacia Hidrográfica do Ribeirão Arrudas*. Escola de Engenharia – Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos – UFMG. Belo Horizonte, 2011. Rev. 1.

PARKER, D.; GREEN, C.; THOMPSON, P.; et al. *Urban Flood Protection Benefits: A project appraisal guide*. Hants, England: Gower Technical Press Ltd., 1987. 284p.

PESQUISA NACIONAL DE SANEAMENTO BÁSICO – PNSB 2008. IBGE, Rio de Janeiro, 2010. 219 p.

PINHEIRO, M. M. G., NAGHETTINI, M. *Análise regional de frequência e distribuição temporal das tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH)*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH, vol. 3, n. 4, 1998.

PNUD BRASIL – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. http://www.pnud.org.br/pobreza_desigualdade. PNUD, 2010. Último acesso em 06/08/2010.

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE – PBH, SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS – SMURBE, SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL – SUDECAP. *Elaboração de projetos e serviços preliminares para obras de infra-estrutura*. Macrodrenagem da Bacia do Córrego Vilarinho e da Bacia do Córrego 12 de Outubro. PBH, 2008. (a)

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE – PBH, SECRETARIA MUNICIPAL DE POLÍTICAS URBANAS – SMURBE, SUPERINTENDENCIA DE DESENVOLVIMENTO DA CAPITAL – SUDECAP. *Cartas de inundação de Belo Horizonte*. Identificação de áreas potencialmente suscetíveis. PBH, 2010. (b)

PREFEITURA DE BELO HORIZONTE – PBH. *Regional Venda Nova*. Mapas: Bairros. Perfil sócio-econômico. PBH, 2010. Disponível em <http://portalpbh.pbh.gov.br>. Último acesso em novembro de 2010.

RAKHA H.; KANG Y.; DION F. *Estimating Vehicle Stops at Under-Saturated and Over-Saturated Fixed-Time Signalized Intersections* – Transportation Research Record, 2001, No. 1776, pp. 128-137.

ROSSI, G. *Historical Development of Flood Analysis Methods*. In: ROSSI, G.; HARMANCIOGLU, N.; YEVJEVICH, V. *Coping With Floods* – Colorado State University, Civil Engineering Department, 1994, p. 11-34.

SENE, K. *Flood Warning, Forecasting and Emergency Response*. Springer Science – United Kingdom, 2008, 303p.

SILVA, A. P .M. *Elaboração de Manchas de Inundação para o Município de Itajubá, Utilizando SIG*. 2006. Dissertação. (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2006.

SMURBE – SUDECAP – PBH, *Carta de Inundações de Belo Horizonte* – Identificação de áreas potencialmente suscetíveis. Maio de 2009.

SUAREZ, P.; ANDERSON, W.; MAHAL, V.; LAKSHMANAN, T. R. *Impacts of flooding and climate change on urban transportation: A systemwide performance assessment of the Boston Metro Area*. Transportation Research Part D, v. 10, p.231-244. 2005.

TSS – Transport Simulation Systems. *AIMSUN 6.1 Users Manual*. TSS, 2010. 312 p.

TUCCI, C. E. M. *Modelos hidrológicos* – UFRGS/ABRH – Porto Alegre, 1998. 1 ed., 669p.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J. C. *Inundações Urbanas na América do Sul* – ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos – Porto Alegre, 2003, 156p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY – US-EPA. *Urban Stormwater Management in the United States*. National Academy of Sciences, 2008. 529 p.

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *HEC-HMS Hydrologic Modeling System – Users Manual*, Versão 3.3, setembro de 2008. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation.html>. Último acesso em maio de 2009.

USACE – U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. *HEC-RAS River Analysis System – Users Manual*, Versão 4.0. <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-document.html>. Último acesso em maio de 2009.

VIANNA, A. P. P. *Utilização de Modelagens Hidrológica e Hidráulica Associadas a um Sistema de Informações Geográficas para Mapeamento de Áreas Inundáveis* – Estudo de caso: Município de Itajubá-MG. 2000. Dissertação. (Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Área de Concentração em Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

YEVJEVICH, V. *Floods and Society*. In: ROSSI, G.; HARMANCIOGLU, N.; YEVJEVICH, V. *Coping With Floods* – Colorado State University, Civil Engineering Department, 1994, p 3-9.

YEVJEVICH, V. *Technology for coping with floods in the 21st century*. In: ROSSI, G.; HARMANCIOGLU, N.; YEVJEVICH, V. *Coping With Floods* – Colorado State University, Civil Engineering Department, 1994, p 35-43.

9 Anexos

Anexo I – Isoietas de precipitações totais anuais médias para RMBH

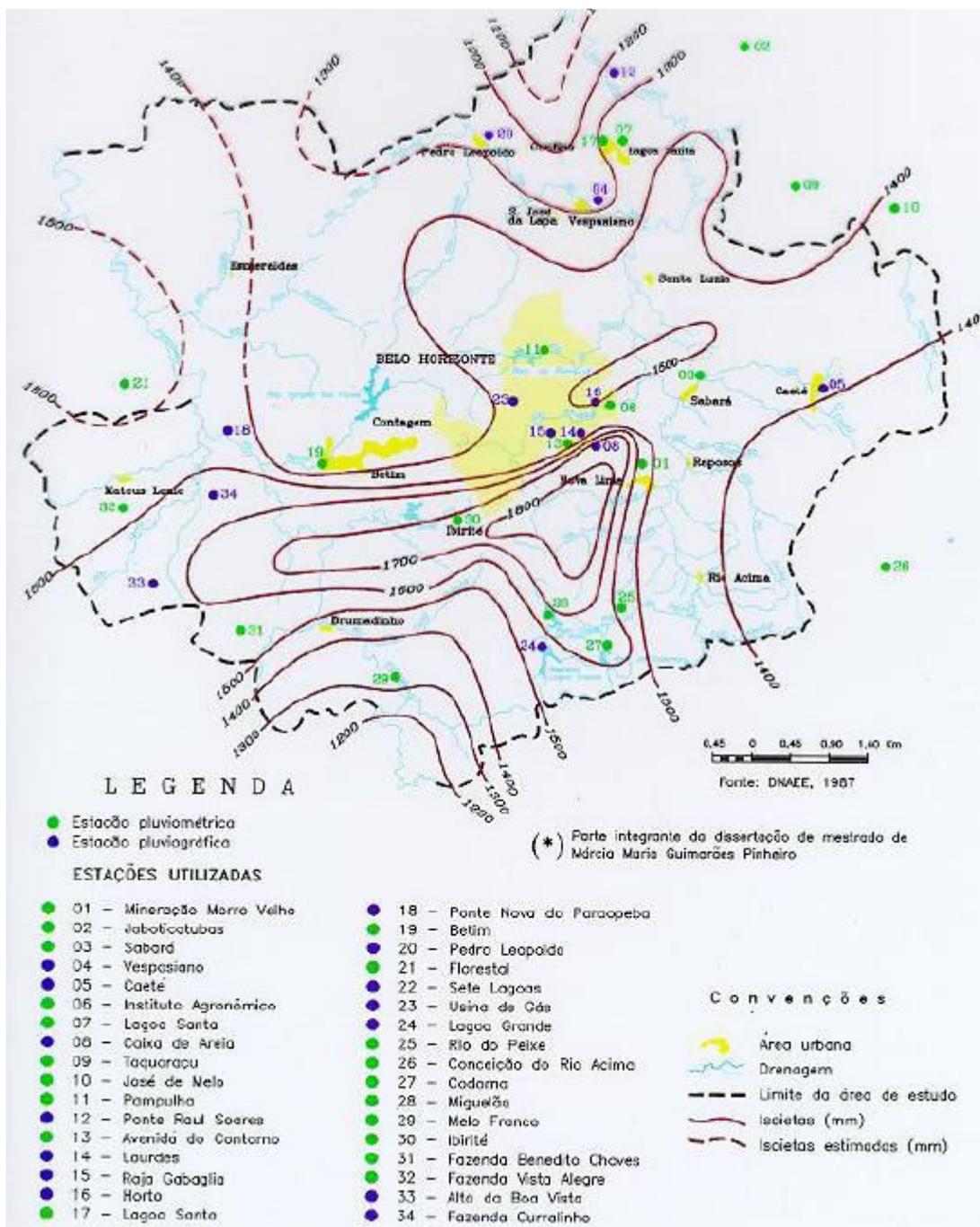


Figura 9.1 - Mapa Isoietal da Região Metropolitana de Belo Horizonte - RMBH (Pinheiro e Naghettini, 1998)

Anexo II – Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$, utilizados para obtenção das curvas IDF

Tabela 9.1 - Quantis adimensionais $\mu_{T,d}$ correspondentes a probabilidades anuais de Gumbel para a RMBH (Pinheiro e Naghettini, 1998)

Duração	Período de retorno (anos)							
	1,05	1,25	2	10	20	50	100	200
10 min	0,691	0,828	1,013	1,428	1,586	1,791	1,945	2,098
15 min	0,695	0,83	1,013	1,422	1,578	1,78	1,932	2,083
30 min	0,707	0,836	1,013	1,406	1,557	1,751	1,897	2,043
45 min	0,69	0,827	1,013	1,43	1,589	1,795	1,949	2,103
1 h	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983	2,143
2 h	0,683	0,823	1,014	1,439	1,602	1,813	1,97	2,128
3 h	0,679	0,821	1,014	1,445	1,61	1,823	1,983	2,143
4 h	0,688	0,826	1,013	1,432	1,591	1,798	1,953	2,108
8 h	0,674	0,818	1,014	1,451	1,618	1,834	1,996	2,157
14 h	0,636	0,797	1,016	1,503	1,69	1,931	2,112	2,292
24 h	0,606	0,779	1,017	1,55	1,754	2,017	2,215	2,412

Anexo III – Precipitação de Projeto – eventos sintéticos

Tabela 9.2 - Chuvas de projeto de 30 minutos de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	18.296	18.296	21	20.957	25	25.394
20	28.475	10.179	33	11.660	40	14.128
30	30.711	2.237	35	2.562	43	3.105
Σ		30.711		35.180		42.626

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	28.704	28.704	32	31.625	34	34.262
20	44.674	15.970	49	17.594	53	19.061
30	48.183	3.510	53	3.867	58	4.189
Σ		48.183		53.086		57.512

Tabela 9.3 - Chuvas de projeto de 60 minutos de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	10.242	10.242	12	11.874	15	14.595
20	22.384	12.142	26	14.077	32	17.303
30	29.616	7.232	34	8.385	42	10.306
40	34.948	5.332	41	6.182	50	7.598
50	36.954	2.006	43	2.326	53	2.859
60	37.693	0.739	44	0.857	54	1.053
Σ		37.693		43.701		53.715

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	16.620	16.620	18	18.413	20	20.029
20	36.324	19.704	40	21.829	44	23.745
30	48.060	11.736	53	13.002	58	14.143
40	56.713	8.653	63	9.586	68	10.428
50	59.968	3.255	66	3.607	72	3.923
60	61.168	1.199	68	1.329	74	1.446
Σ		61.168		67.766		73.714

Tabela 9.4 - Chuvas de projeto de 90 minutos de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	7.175	7.175	8	8.311	10	10.204
20	16.261	9.086	19	10.524	23	12.921
30	26.205	9.944	30	11.518	37	14.141
40	32.718	6.512	38	7.543	47	9.261
50	36.812	4.095	43	4.743	52	5.823
60	39.308	2.496	46	2.891	56	3.549
70	41.102	1.794	48	2.078	58	2.551
80	41.726	0.624	48	0.723	59	0.887
90	42.467	0.741	49	0.858	60	1.054
Σ		42.467		49.189		60.392

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	11.614	11.614	13	12.864	14	13.986
20	26.322	14.708	29	16.291	32	17.711
30	42.419	16.096	47	17.829	51	19.383
40	52.960	10.541	59	11.676	64	12.694
50	59.588	6.628	66	7.341	72	7.981
60	63.628	4.040	70	4.475	77	4.865
70	66.531	2.904	74	3.216	80	3.497
80	67.541	1.010	75	1.118	81	1.216
90	68.741	1.200	76	1.329	83	1.444
Σ		68.741		76.139		82.777

Tabela 9.5 - Chuvas de projeto de 2 horas de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	5.729	5.729	7	6.630	8	8.131
20	12.477	6.748	14	7.808	18	9.576
30	20.721	8.244	24	9.540	29	11.699
40	28.519	7.798	33	9.024	40	11.067
50	34.121	5.602	39	6.482	48	7.950
60	38.577	4.456	45	5.157	55	6.324
70	40.805	2.228	47	2.578	58	3.162
80	42.779	1.973	50	2.284	61	2.801
90	44.307	1.528	51	1.768	63	2.168
100	45.198	0.891	52	1.031	64	1.265
110	45.580	0.382	53	0.442	65	0.542
120	46.216	0.636	53	0.736	66	0.903
Σ		46.216		53.480		65.587

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	9.251	9.251	10	10.244	11	11.131
20	20.145	10.895	22	12.064	24	13.109
30	33.456	13.311	37	14.740	40	16.017
40	46.047	12.591	51	13.943	55	15.150
50	55.092	9.045	61	10.016	66	10.883
60	62.287	7.195	69	7.968	75	8.657
70	65.884	3.597	73	3.984	79	4.329
80	69.070	3.186	76	3.528	83	3.834
90	71.537	2.467	79	2.732	86	2.968
100	72.976	1.439	81	1.593	88	1.731
110	73.593	0.617	81	0.683	89	0.743
120	74.621	1.028	83	1.138	90	1.236
Σ		74.621		82.633		89.789

Tabela 9.6 - Chuvas de projeto de 3 horas de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	3.127	3.127	4	3.626	4	4.457
20	7.037	3.909	8	4.533	10	5.571
30	11.728	4.691	14	5.439	17	6.685
40	15.793	4.065	18	4.713	23	5.793
50	19.702	3.909	23	4.533	28	5.571
60	23.455	3.753	27	4.351	33	5.348
70	27.520	4.066	32	4.714	39	5.794
80	31.273	3.753	36	4.351	45	5.348
90	34.713	3.440	40	3.989	49	4.903
100	37.215	2.501	43	2.900	53	3.565
110	39.717	2.502	46	2.901	57	3.565
120	42.219	2.502	49	2.901	60	3.565
130	44.720	2.502	52	2.901	64	3.565
140	46.909	2.189	54	2.538	67	3.119
150	48.786	1.877	57	2.176	70	2.674
160	50.037	1.251	58	1.450	71	1.782
170	51.131	1.095	59	1.269	73	1.560
180	52.070	0.938	60	1.088	74	1.337
Σ		52.070		60.369		74.202

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	5.075	5.075	6	5.622	6	6.116
20	11.419	6.344	13	7.028	14	7.645
30	19.031	7.612	21	8.434	23	9.174
40	25.628	6.597	28	7.308	31	7.950
50	31.972	6.344	35	7.028	39	7.645
60	38.062	6.090	42	6.747	46	7.339
70	44.659	6.598	49	7.309	54	7.951
80	50.749	6.090	56	6.747	61	7.339
90	56.332	5.583	62	6.185	68	6.728
100	60.391	4.059	67	4.497	73	4.892
110	64.451	4.060	71	4.498	78	4.893
120	68.511	4.060	76	4.498	83	4.893
130	72.571	4.060	80	4.498	87	4.893
140	76.124	3.552	84	3.935	92	4.281
150	79.169	3.045	88	3.374	95	3.670
160	81.199	2.030	90	2.249	98	2.446
170	82.975	1.776	92	1.968	100	2.140
180	84.497	1.523	94	1.687	102	1.835
Σ		84.497		93.612		101.828

Tabela 9.7 - Chuvas de projeto de 5 horas de duração

Tempo Acumulado (min)	TR = 2 anos		TR = 5 anos		TR = 10 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	2.477	2.477	3	2.865	4	3.512
20	4.954	2.477	6	2.865	7	3.512
30	7.431	2.477	9	2.865	11	3.512
40	10.332	2.900	12	3.355	15	4.113
50	13.232	2.900	15	3.355	19	4.113
60	16.132	2.900	19	3.355	23	4.113
70	18.865	2.733	22	3.161	27	3.875
80	21.598	2.733	25	3.161	31	3.875
90	24.331	2.733	28	3.161	35	3.875
100	27.155	2.824	31	3.266	39	4.004
110	29.979	2.824	35	3.266	43	4.004
120	32.803	2.824	38	3.266	47	4.004
130	35.324	2.521	41	2.917	50	3.575
140	37.845	2.521	44	2.917	54	3.575
150	40.367	2.521	47	2.917	57	3.575
160	41.909	1.542	48	1.784	59	2.186
170	43.451	1.542	50	1.784	62	2.186
180	44.992	1.542	52	1.784	64	2.186
190	46.943	1.951	54	2.257	67	2.766
200	48.894	1.951	57	2.257	69	2.766
210	50.845	1.951	59	2.257	72	2.766
220	52.270	1.425	60	1.648	74	2.021
230	53.695	1.425	62	1.648	76	2.021
240	55.120	1.425	64	1.648	78	2.021
250	56.072	0.951	65	1.100	80	1.349
260	57.023	0.951	66	1.100	81	1.349
270	57.974	0.951	67	1.100	82	1.349
280	58.805	0.830	68	0.961	83	1.177
290	59.635	0.830	69	0.961	85	1.177
300	60.466	0.830	70	0.961	86	1.177
Σ		60.466		69.943		85.738

(continua...)

(...continuação)

Tempo Acumulado (min)	TR = 25 anos		TR = 50 anos		TR = 100 anos	
	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)	Precipitação Acumulada (mm)	Precipitação (mm)
0	0.000		0		0	
10	3.991	3.991	4	4.418	5	4.801
20	7.982	3.991	9	4.418	10	4.801
30	11.974	3.991	13	4.418	14	4.801
40	16.647	4.673	18	5.172	20	5.621
50	21.320	4.673	24	5.172	26	5.621
60	25.993	4.673	29	5.172	31	5.621
70	30.397	4.404	34	4.874	37	5.297
80	34.801	4.404	39	4.874	42	5.297
90	39.204	4.404	43	4.874	47	5.297
100	43.754	4.550	48	5.036	53	5.473
110	48.304	4.550	53	5.036	58	5.473
120	52.854	4.550	58	5.036	64	5.473
130	56.917	4.063	63	4.497	68	4.887
140	60.979	4.063	67	4.497	73	4.887
150	65.042	4.063	72	4.497	78	4.887
160	67.526	2.484	75	2.750	81	2.988
170	70.011	2.484	77	2.750	84	2.988
180	72.495	2.484	80	2.750	87	2.988
190	75.639	3.144	84	3.479	91	3.781
200	78.782	3.144	87	3.479	95	3.781
210	81.926	3.144	91	3.479	99	3.781
220	84.222	2.296	93	2.541	101	2.762
230	86.518	2.296	96	2.541	104	2.762
240	88.814	2.296	98	2.541	107	2.762
250	90.347	1.533	100	1.697	109	1.844
260	91.880	1.533	102	1.697	111	1.844
270	93.413	1.533	103	1.697	112	1.844
280	94.751	1.338	105	1.481	114	1.609
290	96.089	1.338	106	1.481	116	1.609
300	97.427	1.338	108	1.481	117	1.609
Σ		97.427		107.832		117.187

Anexo IV – Chuvas históricas – Estação Usina de Gás (01944065)

Neste anexo são apresentados apenas os valores correspondentes às chuvas do ano de 1994. No modelo SWMM, foram utilizadas 3 chuvas relativas a este ano, por sua representatividade quanto ao risco de inundação. As tabelas a seguir ilustram apenas aqueles meses que ocorreram chuvas. Os meses que não registraram nenhuma precipitação foram retirados deste documento.

Tabela 9.8 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Janeiro, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Janeiro

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Tot. Plg (1)		Total	%		
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7	Plm (2)	2 / 1	
1	0.7	0.2		0.1	0.1																				1.1	0.0	0.0		
2													15.1	14.8	0.8	0.4	0.1	0.9								32.1	33.8	34.6	1.02
3			0.6		0.2		0.9	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1			6.4	1.8		0.1	0.2	0.1			0.1		11.4	36.8	37.8	1.03	
4	1.5	8.3	5.9	7.0	1.6	2.0	0.8	1.2	0.3	0.8	0.2			0.1	0.8	0.3				0.1					30.9	11.2	27.0	2.41	
5	0.1	0.1		0.1	2.7	0.8	3.6	1.9	0.4	1.2															10.9	3.5	3.8	1.09	
6																									0.0	0.6	0.6	1.00	
7			0.1	0.3	0.2																				0.6	0.0	0.0		
8																		10.2	10.7				6.5		27.4	30.1	30.2	1.00	
9	2.4	0.3											3.8			2.7					0.4	1.3	0.1		11.0	11.4	11.2	0.98	
10					1.7	1.4								0.9	11.4	1.4	2.0	10.7	1.1	0.1					30.7	29.5	30.2	1.02	
11	0.4	0.4		0.1	0.9	0.1		1.5			0.2	1.1	1.2	1.0	0.4	0.4	0.3	2.6	0.7	3.8	4.2	1.4	1.7	3.5	25.9	24.7	26.2	1.06	
12	0.5	0.1			0.1									0.2	0.9									16.9	18.7	19.1	18.2	0.95	
13	1.0						0.1												0.1	56.2	1.6				59.0	64.1	64.6	1.01	
14				0.6	4.4	1.1	0.1											0.4	0.5	5.3		0.2	1.4	1.9	15.9	10.9	11.2	1.03	
15	0.9	0.3														0.8	0.4	0.1	0.4	0.1					3.0	1.8	2.2	1.22	
16										0.1															0.1	0.1	0.0	0.00	
17																									0.0	0.0	0.0		
18																									0.0	0.0	0.0		
19																									6.1	6.1	5.8	0.95	
20											2.0		3.7	0.4			0.4	0.5							0.9	0.9	1.0	1.11	
21														2.0	0.7							12.7	2.8	0.1	18.3	18.3	18.5	1.01	
22																	0.4	2.1							2.8	2.9	2.9	1.00	
23	0.1								0.5			4.5	15.6	0.1			0.1								20.9	20.8	20.9	1.00	
24															1.6									18.0	19.6	25.4	25.5	1.00	
25	3.4	1.7	0.6		0.1								0.3	0.2	0.4										6.7	0.9	0.8	0.89	
26											7.8	6.5													14.3	34.8	35.0	1.01	
27						4.0	16.5	1.7	0.7		8.9	6.2	0.1			3.2				2.7	0.1				44.1	23.6	24.4	1.03	
28																									0.0	0.0	0.0		
29																									0.0	0.0	0.0		
30																									0.0	0.0	0.0		
31																									0.0	0.0	0.0		
Convenções																							Total	412.4	411.3	432.6	1.05		
Branco = 0,0																							Máx. Diária	59.0	64.1	64.6	-		
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	56.2	56.2	-	-		

Tabela 9.9 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Fevereiro, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Fevereiro

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total	% 2 / 1			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7		Plm (2)		
1																										0.0	0.0	0.0		
2																											0.0	0.0	0.0	
3																											0.0	0.0	0.0	
4																											0.0	0.0	0.0	
5																											0.0	0.0	0.0	
6																											0.0	0.0	0.0	
7																											0.0	0.0	0.0	
8																											0.0	0.0	0.0	
9																											0.0	0.0	0.0	
10																											0.0	0.0	0.0	
11																											0.0	0.0	0.0	
12																											0.0	0.0	0.0	
13																											0.0	1.8	1.7	0.94
14	1.6			0.2																	17.8	14.0	24.0	1.0	58.6	56.8	57.5	1.01		
15																										0.0	0.0	0.0		
16																											0.0	0.0	0.0	
17																											0.0	0.0	0.0	
18																											0.0	0.0	0.0	
19																											0.0	0.0	0.0	
20																											0.0	4.9	0.0	0.00
21	0.8	4.0	0.1																							4.9	0.0	4.9		
22																											0.0	0.0	0.0	
23																											0.0	0.0	0.0	
24														1.0													1.0	1.0	0.7	0.70
25																											0.0	0.0	0.0	
26																			7.6			2.4	1.5	0.8		12.3	13.8	13.8	1.00	
27		0.3	0.4	0.6	0.2																		0.8	0.3		2.6	28.1	28.7	1.02	
28	5.5	0.8	0.2	20.2	0.3																1.7	3.3			32.0	5.0	4.9	0.98		
Convenções																							Total	111.4	111.4	112.2				
Branco = 0,0																							Máx. Diária	58.6	56.8	57.5	-			
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	24.0	24.0	-	-			

Tabela 9.10 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Março, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Março

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																								Total		Total	%	
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7	Plm (2)	2 / 1	
1																	1.3		2.1							3.4	3.4	3.4	1.00
2								0.2	0.2						24.2	3.4	0.1	0.1			2.7	1.5	0.1			32.5	39.1	39.6	1.01
3	0.2	1.0	2.2	2.5	0.3	0.3	0.1				0.2	0.3	0.7	2.2	1.2	0.3		0.1	0.2			0.1				11.9	5.6	5.4	0.96
4	0.3																									0.3	0.2	0.4	2.00
5							0.2							1.2	2.2	1.9	1.7	1.6	0.8	0.1	1.4	1.0	0.4	0.2		12.7	26.4	27.3	1.03
6	1.4	2.1	1.6	2.5	1.9	2.5	1.9	8.6	4.1	4.8	3.7	1.0	1.3	3.4	4.2	9.4	4.3	1.9	0.5	0.2	0.1	1.4	3.2	3.6	69.6	69.2	72.8	1.05	
7	1.2	3.8	5.8	0.1	0.4	2.2		0.5				0.3	0.1											0.1	14.5	1.0	0.9	0.90	
8																										0.0	0.0	0.0	
9																										0.0	0.0	0.0	
10																										0.0	0.0	0.0	
11																										0.0	1.3	2.1	1.62
12							1.3	0.7	0.4												0.7	0.3	43.7	40.9	88.0	93.7	100.8	1.08	
13	5.7	1.0	0.2			0.1																				7.0	0.0	0.0	
14																			10.5	41.2	0.3	0.1				52.1	52.2	53.4	1.02
15						0.1																				0.1	0.0	0.0	
16																										0.0	0.0	0.0	
17																								9.6	9.6	9.6	9.2	0.96	
18																										0.0	0.0	0.0	
19											13.6	0.2	12.6	0.9	5.4	0.2		0.1								33.0	33.0	34.6	1.05
20								10.0	0.3	0.1	0.1	13.1	23.2	0.3	0.2						0.1					47.4	47.4	49.0	1.03
21															4.6	0.1								0.1		4.8	4.8	4.8	1.00
22													0.2	0.2			4.0	1.1			1.0	0.1			6.6	6.6	6.6	1.00	
23																										0.0	0.0	0.0	
24																13.0	18.2	5.2	4.6	0.7	0.8	1.4		0.1	44.0	44.0	44.9	1.02	
25																										0.0	0.0	0.0	
26															0.4	0.1	0.6	1.1	1.5	1.2	0.4		0.1	0.3	5.7	5.7	5.7	1.00	
27																										0.0	0.0	0.0	
28																										0.0	0.0	0.0	
29																										0.0	0.0	0.0	
30																										0.0	0.0	0.0	
31																										0.0	1.2	2.4	2.00
Convenções																						Total	443.2	444.4	463.3	1.04			
Branco = 0,0																						Máx. Diária	88.0	93.7	100.8	-			
SR = Sem Registro																						Máx. Horária	43.7	43.7	-	-			

Tabela 9.11 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Abril, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Abril

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																					Total		Total Plm (2)	%						
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23			23-24	0-24	7-7			
1							1.2	0.8	0.4									0.2	0.4	0.1		0.7			3.8	2.6	1.5	0.58			
2																										0.0	0.0	0.0			
3																										0.0	0.0	0.0			
4																										0.0	0.0	0.0			
5																										0.0	0.0	0.0			
6																										0.0	0.0	0.0			
7															0.1	0.1			3.3	5.1	0.3				8.9	12.5	12.6	1.01			
8			3.5	0.1																					3.6	0.0	0.0				
9																									0.0	0.0	0.0				
10																									0.0	0.0	0.0				
11																									0.0	0.0	0.0				
12																									0.0	0.0	0.0				
13																									0.0	0.0	0.0				
14																									0.0	0.0	0.0				
15																				0.6	0.3				0.9	1.0	1.0	1.00			
16				0.1																					0.1	0.0	0.0				
17																									0.0	0.0	0.0				
18																							1.2		1.3	1.3	1.4	1.08			
19													2.6	0.3	27.5	4.4	1.6	0.5	0.1						37.0	37.0	37.0	1.00			
20																									0.0	0.0	0.0				
21																									0.0	0.0	0.0				
22																									0.0	0.0	0.0				
23																									0.0	0.1	0.1	1.00			
24					0.1																0.9				1.0	0.9	1.0	1.11			
25																									0.0	0.0	0.0				
26																									0.0	0.0	0.0				
27																									0.0	0.0	0.0				
28																									0.0	0.0	0.0				
29								SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	0.0	0.0	0.0	
30	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	SR	0.0	0.0	0.0
																								Convenções		Total	56.6	55.4	54.6	0.99	
																								Branco = 0,0		Máx. Diária	37.0	37.0	37.0	-	
																								SR = Sem Registro		Máx. Horária	27.5	27.5	-	-	

Tabela 9.12 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Maio, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Maio

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total	%		
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7		Pim (2)	2 / 1
1																									0.0	0.0	0.0		
2																										0.0	0.0	0.0	
3																										0.0	0.0	0.0	
4																										0.0	0.0	0.0	
5																										0.0	0.0	0.0	
6																										0.0	0.0	0.0	
7																										0.0	0.0	0.0	
8																										0.0	0.0	0.0	
9																										0.0	0.0	0.0	
10																										0.0	0.0	0.0	
11																										0.0	0.0	0.0	
12																										0.0	0.0	0.0	
13																										0.0	0.0	0.0	
14																										0.0	0.0	0.0	
15																										0.0	3.4	3.6	1.06
16		0.4	0.4	0.6		1.1	0.9																		3.4	2.1	2.1	1.00	
17				0.6	0.8	0.7		7.9	0.1	9.3	0.1														19.5	17.4	17.3	0.99	
18																										0.0	0.0	0.0	
19																										0.0	0.0	0.0	
20																										0.0	0.0	0.0	
21																0.1		1.2	4.8	0.2					6.3	6.3	6.3	1.00	
22																										0.0	0.0	0.0	
23																										0.0	0.0	0.0	
24																										0.0	0.0	0.0	
25																										0.0	0.0	0.0	
26																0.2									0.2	0.2	0.2	1.00	
27																									12.9	13.8	13.6	0.99	
28				0.9					1.2	0.1															2.2	1.3	1.4	1.08	
29																									0.0	0.0	0.0		
30																									0.0	0.0	0.0		
31																									0.0	0.0	0.0		
Convenções																							Total	44.5	44.5	44.5	1.00		
Branco = 0,0																							Máx. Diária	19.5	17.4	17.3	-		
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	9.3	9.3	-	-		

Tabela 9.13 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Junho, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Junho

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total	%			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7	Plm (2)	2 / 1		
1																									0.0	0.0	0.0			
2																										0.0	0.0	0.0		
3																										0.0	0.0	0.0		
4																										0.0	0.0	0.0		
5																										0.0	0.0	0.0		
6																										0.0	0.0	0.0		
7																										0.0	0.0	0.0		
8																										0.0	0.0	0.0		
9																										0.0	0.0	0.0		
10																										0.0	0.0	0.0		
11																										0.0	0.0	0.0		
12																										0.0	0.0	0.0		
13																										0.0	0.0	0.0		
14																										0.0	0.0	0.0		
15																										0.0	0.0	0.0		
16																										0.0	0.0	0.0		
17																										0.0	0.0	0.0		
18																										0.0	0.0	0.0		
19																										0.0	0.0	0.0		
20																										0.0	0.0	0.0		
21																										0.0	0.0	0.0		
22																	0.2								0.1	0.1	0.4	0.8	0.8	1.00
23			0.4																							0.4	0.0	0.0		
24																										0.0	0.0	0.0		
25													0.2	9.7												9.9	9.9	9.7	0.98	
26																										0.0	0.0	0.0		
27																										0.0	0.0	0.0		
28																										0.0	0.0	0.0		
29																										0.0	0.0	0.0		
30																										0.0	0.0	0.0		
Convenções																							Total	10.7	10.7	10.5	0.98			
Branco = 0,0																							Máx. Diária	9.9	9.9	9.7	-			
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	9.7	9.7	-	-			

Tabela 9.14 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Outubro, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Outubro

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total	%			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7	Pim (2)	2 / 1		
1																									0.0	0.0	0.0			
2																										0.0	0.0	0.0		
3																										0.0	0.0	0.0		
4																										0.0	0.0	0.0		
5																										0.0	0.0	0.0		
6																							0.4	19.4	19.8	23.8	22.0	0.92		
7	3.4	0.5				0.1																			4.0	0.0	0.0			
8																										0.0	0.0	0.0		
9																										0.0	0.0	0.0		
10																										0.0	0.0	0.0		
11																										0.0	0.0	0.0		
12																										0.0	0.0	0.0		
13																										0.0	0.0	0.0		
14																										0.0	0.0	0.0		
15																										0.0	0.0	0.0		
16																										0.0	0.0	0.0		
17																										0.2	0.2	0.2	1.00	
18																										4.1	4.1	3.8	0.93	
19																										23.1	23.1	22.9	0.99	
20																										0.0	1.8	1.8	1.00	
21				0.1			1.7																			1.8	0.0	0.0		
22																										0.0	0.0	0.0		
23																										0.0	0.0	0.0		
24																										0.0	0.0	0.0		
25																										0.0	0.0	0.0		
26																										5.1	5.7	6.0	1.05	
27	0.6																									6.4	5.8	5.9	1.02	
28																4.9	0.8	0.1								0.0	0.0	0.0		
29																											2.1	2.1	0.0	0.00
30													1.6	0.3												0.0	0.8	0.8	1.00	
31																										0.8	0.0	0.0		
Convenções																							Total	67.4	67.4	63.4	0.94			
Branco = 0,0																							Máx. Diária	23.1	23.8	22.9	-			
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	20.1	20.1	-	-			

Tabela 9.15 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Novembro, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Novembro

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total Plm (2)	% 2 / 1					
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24			7-7				
1																									0.0	0.0	0.0					
2																										21.1	21.1	22.2	1.05			
3																										3.3	3.3	3.3	1.00			
4																										0.0	0.0	0.0				
5																										0.0	0.0	0.0				
6																										0.0	0.0	0.0				
7																										0.0	0.0	0.0				
8																										0.0	0.0	0.0				
9																										0.0	0.0	0.0				
10																										0.0	0.0	0.0				
11																										0.0	0.0	0.0				
12																										17.8	22.6	22.0	0.97			
13	2.1	2.7																								4.8	0.0	0.0				
14																										6.7	7.3	7.2	0.99			
15																										15.8	26.4	15.1	0.57			
16	1.2	0.2	1.9	0.2	5.4	1.6	0.7																			11.2	0.0	0.0				
17																										0.0	0.0	0.0				
18																										9.8	9.8	21.7	2.21			
19																										0.2	0.7	5.8	11.8	16.9	15.6	0.92
20	3.4	0.3	0.1		1.0	0.3																				0.6	2.3	1.2	9.4	4.4	4.3	0.98
21	0.1																									0.1	0.0	0.2				
22																										0.0	0.0	0.0				
23																										0.0	0.0	0.0				
24																										0.0	0.0	0.0				
25																										0.0	0.0	0.0				
26																										0.0	0.0	0.0				
27																										0.0	0.0	0.3				
28																										20.3	42.7	43.9	1.03			
29	0.2	11.8	8.2	1.9	0.2	0.1																				32.9	10.5	10.5	1.00			
30																										1.3	1.3	1.3	1.00			
																							Convenções		Total	166.3	166.3	167.6	1.01			
																							Branco = 0,0		Máx. Diária	32.9	42.7	43.9	-			
																							SR = Sem Registro		Máx. Horária	21.0	21.0	-	-			

Tabela 9.16 - Alturas totais horárias de precipitação (mm) – Estação Usina de Gás – Dezembro, 1994

Posto: Usina de Gás

Nº: 01944065

Bacia: Rio São Francisco

Mês: Dezembro

Ano: 1994

	Intervalo em Horas																							Total		Total	%			
	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8	8-9	9-10	10-11	11-12	12-13	13-14	14-15	15-16	16-17	17-18	18-19	19-20	20-21	21-22	22-23	23-24	0-24	7-7	Plm (2)	2 / 1		
1																										0.0	0.0	0.0		
2																											0.0	0.0	0.0	
3																											0.0	0.0	0.0	
4																											0.0	0.0	0.0	
5																								4.6	4.6	18.3	18.3	1.00		
6	12.4	1.1	0.1			0.1														2.1	1.5	2.9	1.2	1.1	22.5	8.9	8.8	0.99		
7						0.1																0.1	0.6	0.3	1.1	9.9	9.9	1.00		
8	0.2	0.3	1.3	1.6	2.3	1.6	1.6	0.7	0.2	0.1	0.4	9.3	1.3												20.9	12.0	12.0	1.00		
9																										0.0	0.0	0.0		
10																										0.0	0.0	0.0		
11																										0.0	0.0	0.0		
12																										0.0	0.0	0.0		
13																										0.0	0.0	0.0		
14																										0.0	0.0	0.0		
15																						1.1	10.4	3.3	14.8	18.2	18.0	0.99		
16	2.6	0.6	0.1		0.1						1.6	0.1													5.1	3.3	3.2	0.97		
17				0.6	1.0											1.3	0.1					0.8	0.8	0.3	0.2	5.1	3.5	3.4	0.97	
18																						0.1	8.3	6.3	0.3	15.0	23.6	23.4	0.99	
19				0.4	3.1	2.6	2.5	0.7	1.2					0.2											10.7	2.1	1.6	0.76		
20																										0.0	0.0	0.0		
21																										0.0	5.2	5.2	1.00	
22				1.7	2.5	0.2	0.8	4.1	2.9	2.3					9.9	6.7	9.2	4.2	1.7	0.8	0.1		0.2	1.2	48.5	62.0	68.0	1.10		
23	1.4	1.4	3.7	4.0	1.1	3.2	3.9	2.9	0.8	0.4	0.4	0.1		0.4		3.7	0.2	1.2	2.7	0.3	2.6	8.0	0.8	0.2	43.4	37.0	37.6	1.02		
24	0.4	0.8	0.4	2.2	7.9	0.6					0.9	0.8	0.2					6.6	7.0	6.4	0.1				34.3	22.1	50.0	2.26		
25							0.1	27.9	17.9	3.2	0.1		1.3		6.8	1.0		0.9	0.5			0.3			60.0	59.9	32.1	0.54		
26																		1.2	0.1						1.3	1.3	1.3	1.00		
27																					7.9	1.8	0.7	0.9	0.1	11.4	11.5	12.9	1.12	
28			0.1																						0.1	0.0	0.0			
29																									0.0	0.0	0.0			
30																									0.0	0.0	0.0			
31																									0.0	0.0	0.0			
Convenções																							Total	298.8	298.8	305.7	1.02			
Branco = 0,0																							Máx. Diária	60.0	62.0	68.0	-			
SR = Sem Registro																							Máx. Horária	27.9	27.9	-	-			

Anexo V – Características das sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho

A divisão da Bacia do Córrego Vilarinho, assim como as características das sub-bacias que a compõe, foi realizada de acordo com dados fornecidos pela PBH e pela COBRAPE, apresentados nas tabelas a seguir. A codificação das micro-bacias refere-se ao mapa apresentado na Figura 9.2.

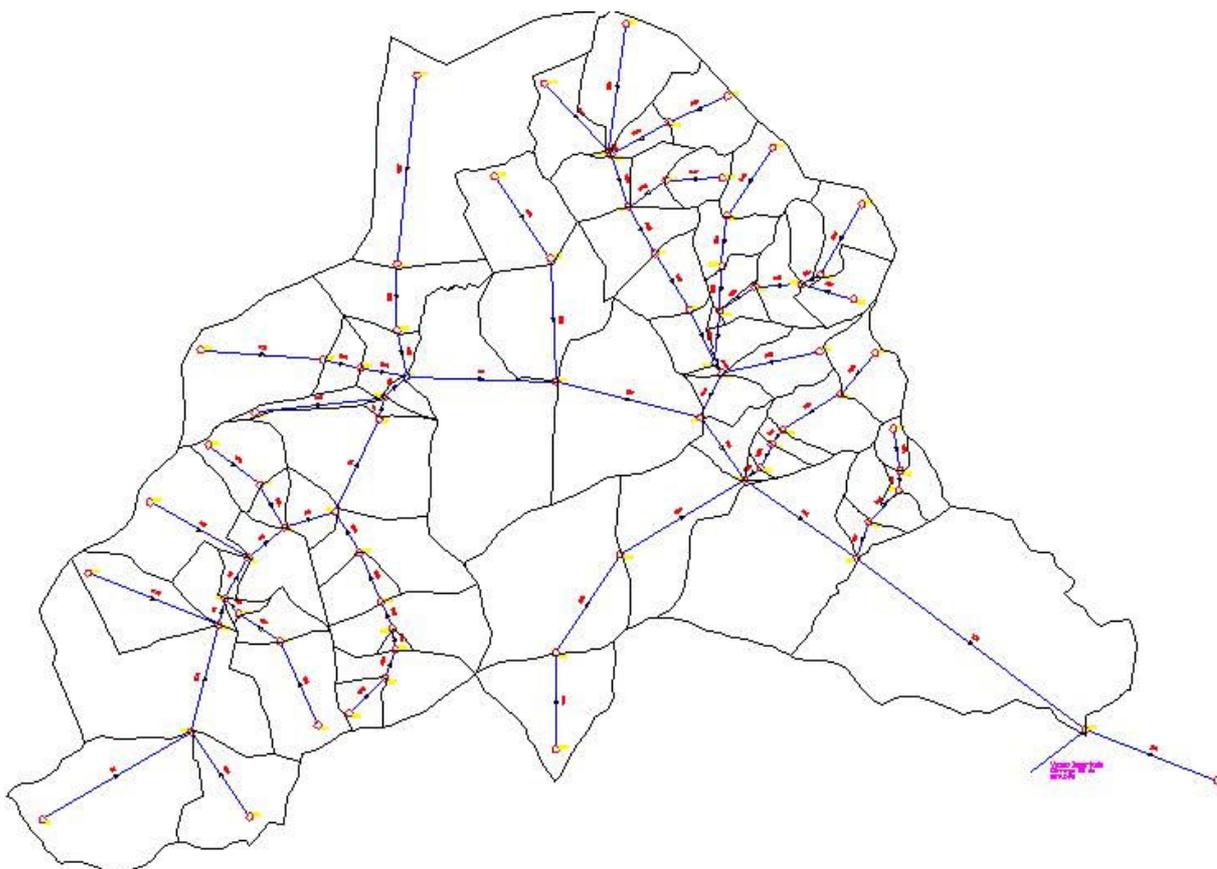


Figura 9.2 - Sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho (COBRAPE, 2008)

Tabela 9.17 - Características das sub-bacias componentes da Bacia do Córrego Vilarinho (COBRAPE, 2008)

Bacia / Trecho	Nó		Área (km ²)	Almp (%)	Adlr (%)	CN	TC (h) - Método de Cálculo				
	Inicial	Final					Cinemático	f(área)	KRplich	California	Dooge
R1	N1	N2	0,595	56,68	10,22	69	0,200	0,386	0,192	0,192	0,458
R15	N16	N2	0,294	56,68	10,22	69	0,128	0,271	0,120	0,120	0,325
R72	N2	N73	0,731	56,68	10,22	69	0,000	0,427	0,127	0,127	0,581
R73	N74	N73	0,250	56,68	10,22	69	0,000	0,250	0,155	0,155	0,325
R2	N73	N3	0,091	56,68	10,22	69	0,149	0,151	0,807	0,807	0,561
R16	N17	N18	0,303	56,68	10,22	69	0,127	0,275	0,120	0,120	0,330
R17	N18	N19	0,091	56,68	10,22	69	0,053	0,151	0,234	0,234	0,364
R18	N19	N3	0,019	56,68	10,22	69	0,024	0,069	0,036	0,036	0,111
R3	N3	N4	0,031	56,68	10,22	69	0,053	0,088	0,147	0,147	0,191
R19	N20	N4	0,335	56,68	10,22	69	0,153	0,289	0,159	0,159	0,366
R4	N4	N5	0,189	56,68	10,22	69	0,049	0,217	0,157	0,157	0,423
R20	N21	N22	0,164	59,58	12,03	69	0,080	0,202	0,091	0,091	0,265
R21	N22	N5	0,052	59,58	12,03	69	0,055	0,114	0,082	0,082	0,180
R5	N5	N6	0,087	59,58	12,03	69	0,061	0,147	0,203	0,203	0,319
R28	N29	N30	0,067	59,58	12,03	69	0,060	0,129	0,061	0,061	0,170
R29	N30	N31	0,190	59,58	12,03	69	0,033	0,218	0,054	0,054	0,304
R30	N31	N32	0,015	59,58	12,03	69	0,023	0,061	0,084	0,084	0,147
R31	N32	N33	0,261	59,58	12,03	69	0,035	0,255	0,099	0,099	0,442
R32	N33	N34	0,111	59,58	12,03	69	0,060	0,167	0,155	0,155	0,315
R33	N34	N6	0,260	59,58	12,03	69	0,051	0,255	0,120	0,120	0,422
R6	N6	N7	0,451	59,58	12,03	69	0,112	0,336	0,482	0,482	0,748
R7	N7	N8	0,019	59,58	12,03	69	0,023	0,069	0,114	0,114	0,186
R22	N23	N8	0,056	59,58	12,03	69	0,149	0,118	0,167	0,167	0,181
R8	N8	N9	0,033	59,58	12,03	69	0,025	0,091	0,071	0,071	0,183
R25	N26	N27	1,012	50,02	7,87	69	0,335	0,503	0,331	0,331	0,609
R26	N27	N28	0,239	50,02	7,87	69	0,069	0,244	0,161	0,161	0,418
R27	N28	N9	0,052	39,86	4,87	69	0,000	0,114	---	---	---
R70	N71	N24	0,510	39,86	4,87	69	0,000	0,357	0,143	0,143	0,439
R23	N24	N25	0,069	39,86	4,87	69	0,220	0,131	---	---	---
R24	N25	N9	0,052	39,86	4,87	69	0,000	0,114	---	---	---
R9	N9	N10	0,846	38,00	4,40	69	0,185	0,460	0,499	0,499	0,830
R68	N69	N70	0,307	38,00	4,40	69	0,156	0,277	0,211	0,211	0,396
R69	N70	N10	0,402	38,00	4,40	69	0,125	0,317	0,152	0,152	0,413
R10	N10	N11	0,639	38,00	4,40	69	0,161	0,400	0,483	0,483	0,764
R36	N37	N38	0,297	52,11	8,57	69	0,161	0,272	0,137	0,137	0,320
R44	N45	N38	0,177	52,11	8,57	69	0,138	0,210	0,117	0,117	0,254
R37	N38	N39	0,003	52,11	8,57	69	0,007	0,027	0,026	0,026	0,068
R45	N46	N47	0,190	52,11	8,57	69	0,074	0,218	0,064	0,064	0,248
R46	N47	N39	0,060	52,11	8,57	69	0,075	0,122	0,095	0,095	0,184
R38	N39	N40	0,133	52,11	8,57	0	0,000	0,182	0,194	0,194	0,377
R47	N48	N49	0,094	52,11	8,57	69	0,066	0,153	0,072	0,072	0,203
R48	N49	N40	0,087	52,11	8,57	69	0,050	0,147	0,083	0,083	0,230
R39	N40	N41	0,179	52,11	8,57	69	0,057	0,212	0,255	0,255	0,486
R40	N41	N42	0,161	52,11	8,57	69	0,074	0,201	0,181	0,181	0,367
R41	N42	N43	0,092	52,11	8,57	69	0,000	0,152	---	---	---
R53	N64	N65	0,153	52,11	8,57	69	0,154	0,196	0,118	0,118	0,232
R54	N65	N66	0,079	52,11	8,57	69	0,017	0,141	0,019	0,019	0,169
R57	N68	N66	0,135	52,11	8,57	69	0,074	0,184	0,051	0,051	0,195
R55	N66	N67	0,114	52,11	8,57	69	0,080	0,169	0,065	0,065	0,232
R56	N67	N63	0,037	52,11	8,57	69	0,049	0,095	0,110	0,110	0,185
R49	N60	N61	0,185	52,11	8,57	69	0,114	0,215	0,094	0,094	0,251
R50	N61	N62	0,123	52,11	8,57	69	0,059	0,175	0,064	0,064	0,225
R51	N62	N63	0,056	52,11	8,57	69	0,044	0,118	0,084	0,084	0,202
R52	N63	N43	0,008	52,11	8,57	69	0,024	0,045	0,048	0,048	0,088
R42	N43	N44	0,087	52,11	8,57	69	0,012	0,147	---	---	---
R58	N69	N44	0,155	52,11	8,57	69	0,155	0,197	0,116	0,116	0,231
R43	N44	N11	0,085	52,11	8,57	69	0,054	0,146	0,146	0,146	0,285
R11	N11	N12	0,094	61,74	12,96	69	0,080	0,153	0,261	0,261	0,337
R59	N60	N61	0,165	61,74	12,96	69	0,074	0,203	0,064	0,064	0,234
R60	N61	N62	0,182	61,74	12,96	69	0,079	0,213	0,065	0,065	0,239
R61	N62	N63	0,042	61,74	12,96	69	0,019	0,102	0,051	0,051	0,194
R62	N63	N64	0,044	61,74	12,96	69	0,030	0,105	0,066	0,066	0,189
R63	N64	N12	0,012	61,74	12,96	69	0,021	0,055	0,056	0,056	0,116
R34	N35	N36	0,326	47,44	7,04	69	0,109	0,285	0,115	0,115	0,352
R71	N36	N72	0,685	47,44	7,04	69	0,000	0,414	0,261	0,261	0,601
R35	N72	N12	0,404	47,44	7,04	69	0,318	0,318	0,261	0,261	0,484
R12	N12	N13	0,761	61,74	12,96	69	0,150	0,436	0,447	0,447	0,812
R64	N65	N66	0,045	61,74	12,96	69	0,055	0,106	0,045	0,045	0,131
R65	N66	N67	0,080	61,74	12,96	69	0,022	0,141	0,030	0,030	0,189
R66	N67	N68	0,114	61,74	12,96	69	0,048	0,169	0,066	0,066	0,236
R67	N68	N13	0,054	61,74	12,96	69	0,042	0,116	0,076	0,076	0,194
R13	N13	N14	1,500	61,74	12,96	69	0,032	0,612	0,054	0,054	0,712
R74	N14	N75	0,311	48,00	1,28	69	0,219	0,279	0,620	0,620	0,572

Anexo VI – Comportamento do trânsito no cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere – Dados corrigidos em relação ao crescimento da frota veicular de Belo Horizonte

As tabelas a seguir são referentes ao cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere. Os dados de fluxo de veículos, ou contagem volumétrica de veículos, deste cruzamento foram coletados pela BHTRANS em 21 de fevereiro de 2000. Os dados foram corrigidos para o ano de 2009, para que assim pudessem ser utilizados na modelagem de tráfego. A variação apresentada nas tabelas a seguir pode ser também visualizada no gráfico apresentado pela Figura 9.3.

Avenida Vilarinho X Rua Marechal Falconiere - Correção temporal da variação horária do fluxo de veículos

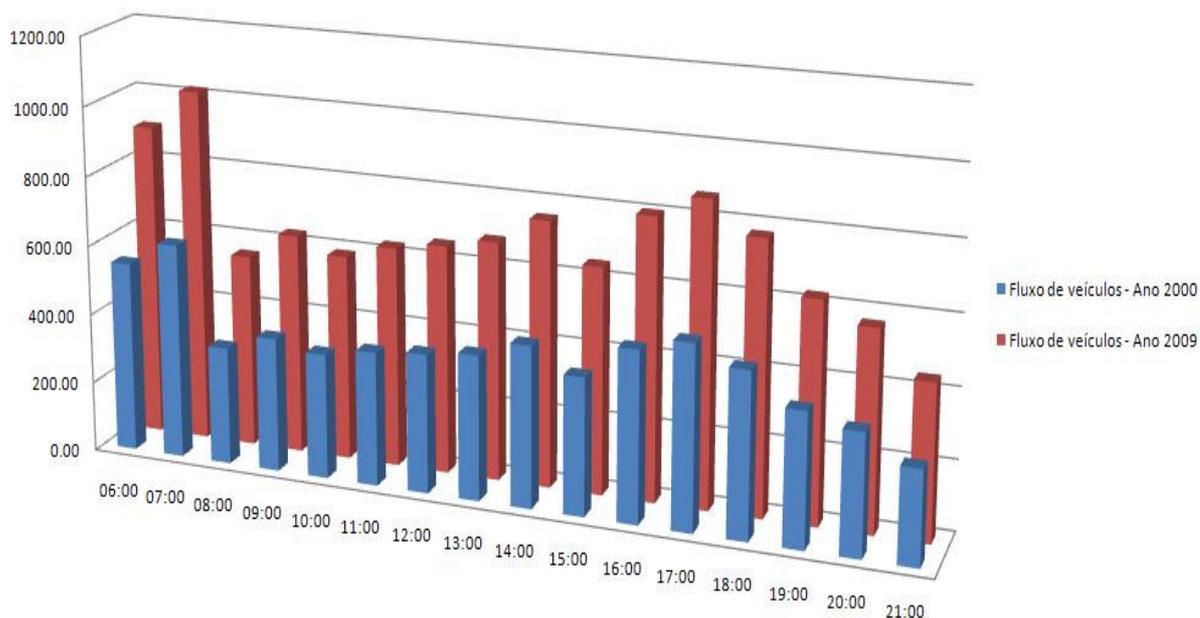


Figura 9.3 - Correção temporal do fluxo de veículos a partir de dados de crescimento da frota, fornecido pela FENABRAVE

Os vários sentidos do tráfego possíveis neste cruzamento, chamados de ‘movimentos’, são ilustrados na Figura 9.4.

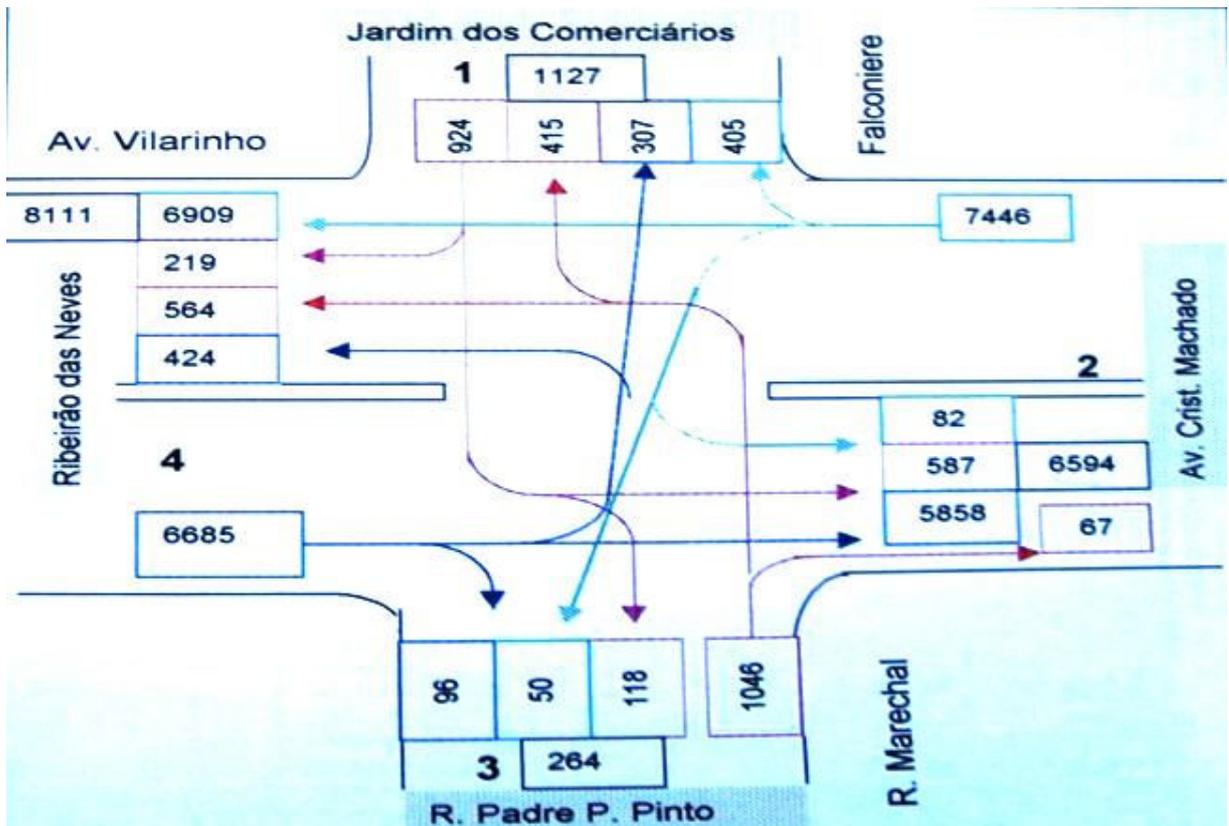


Figura 9.4 - Movimentos possíveis no cruzamento da Avenida Vilarinho com Rua Marechal Falconiere

Tabela 9.18 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do bairro, pela Rua Marechal Falconiere

Hora		Movimento (1/2) - R. Marechal F. (Jd dos Comercíarios) / Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado)						Movimento (1/3) - R. Marechal F. (Jd dos Comercíarios) / R. Marechal F. (R Pd. Pedro Pinto)					Movimento (1/4) - R. Marechal F. (Jd dos Comercíarios) / Av. Vilarinho (Rib. Das Neves)				
Início	Fim	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	
06:00	07:00	38	2	3	48.50	80.03	5	0	0	5.00	8.25	0	12	0	27.00	44.55	
07:00	08:00	66	4	6	87.00	143.55	4	0	0	4.00	6.60	7	9	0	27.25	44.96	
08:00	09:00	47	3	5	63.75	105.19	10	0	0	10.00	16.50	13	9	2	37.25	61.46	
09:00	10:00	39	1	5	51.25	84.56	8	0	1	10.00	16.50	10	8	1	30.00	49.50	
10:00	11:00	43	0	2	47.00	77.55	2	0	1	4.00	6.60	4	8	0	22.00	36.30	
11:00	12:00	25	0	5	35.00	57.75	3	0	2	7.00	11.55	1	5	2	16.25	26.81	
12:00	13:00	32	1	1	36.25	59.81	12	0	0	12.00	19.80	6	2	2	14.50	23.93	
13:00	14:00	53	2	0	57.50	94.88	8	0	0	8.00	13.20	1	0	1	3.00	4.95	
14:00	15:00	26	0	5	36.00	59.40	4	0	3	10.00	16.50	6	1	0	8.25	13.61	
15:00	16:00	34	0	2	38.00	62.70	1	0	2	5.00	8.25	1	2	2	9.50	15.68	
16:00	17:00	12	1	3	20.25	33.41	5	0	2	9.00	14.85	7	5	4	26.25	43.31	
17:00	18:00	24	0	4	32.00	52.80	11	0	2	15.00	24.75	13	12	2	44.00	72.60	
18:00	19:00	28	4	2	41.00	67.65	10	1	0	12.25	20.21	12	11	0	36.75	60.64	
19:00	20:00	20	6	1	35.50	58.58	8	0	0	8.00	13.20	8	4	0	17.00	28.05	
20:00	21:00	14	5	1	27.25	44.96	6	0	1	8.00	13.20	5	7	2	24.75	40.84	
21:00	22:00	11	1	0	13.25	21.86	6	0	0	6.00	9.90	4	7	0	19.75	32.59	

Tabela 9.19 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do centro, pela Avenida Cristiano Machado

Hora		Movimento (2/1) - Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado) / R. Marechal F. (Jd dos Comerciários)					Movimento (2/2) - Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado) / Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado)					Movimento (2/3) - Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado) / R. Marechal F. (R Pde Pedro Pinto)					Movimento (2/4) - Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado) / Av. Vilarinho (Ribeirão das Neves)				
Início	Fim	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009
06:00	07:00	2	3	1	10.75	17.74	1	1	0	3.25	5.36	1	0	0	1.00	1.65	154	57	11	304.25	502.01
07:00	08:00	10	2	0	14.50	23.93	4	0	0	4.00	6.60	1	1	1	5.25	8.66	289	50	34	469.50	774.68
08:00	09:00	9	1	0	11.25	18.56	5	0	0	5.00	8.25	4	0	0	4.00	6.60	332	44	41	513.00	846.45
09:00	10:00	14	1	3	22.25	36.71	6	0	0	6.00	9.90	4	0	0	4.00	6.60	370	39	72	601.75	992.89
10:00	11:00	28	0	3	34.00	56.10	6	0	1	8.00	13.20	3	0	0	3.00	4.95	430	31	52	603.75	996.19
11:00	12:00	28	0	1	30.00	49.50	6	0	0	6.00	9.90	3	0	0	3.00	4.95	261	15	50	394.75	651.34
12:00	13:00	28	0	2	32.00	52.80	8	0	2	12.00	19.80	1	0	0	1.00	1.65	257	19	56	411.75	679.39
13:00	14:00	19	1	2	25.25	41.66	10	0	2	14.00	23.10	5	0	0	5.00	8.25	244	21	43	377.25	622.46
14:00	15:00	19	2	1	25.50	42.08	6	1	0	8.25	13.61	9	0	2	13.00	21.45	317	25	51	475.25	784.16
15:00	16:00	24	1	1	28.25	46.61	7	0	0	7.00	11.55	5	0	1	7.00	11.55	279	30	59	464.50	766.43
16:00	17:00	22	1	3	30.25	49.91	6	0	0	6.00	9.90	2	0	0	2.00	3.30	355	33	49	527.25	869.96
17:00	18:00	28	1	2	34.25	56.51	3	0	0	3.00	4.95	2	0	0	2.00	3.30	523	42	55	727.50	1200.38
18:00	19:00	34	2	3	44.50	73.43	1	1	0	3.25	5.36	2	0	0	2.00	3.30	604	46	34	775.50	1279.58
19:00	20:00	40	3	1	48.75	80.44	4	0	0	4.00	6.60	0	0	0	0.00	0.00	546	42	28	696.50	1149.23
20:00	21:00	39	2	0	43.50	71.78	1	0	0	1.00	1.65	1	0	0	1.00	1.65	455	26	15	543.50	896.78
21:00	22:00	16	0	1	18.00	29.70	0	0	0	0.00	0.00	2	0	0	2.00	3.30	285	27	11	367.75	606.79

Tabela 9.20 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente do bairro, pela Rua Marechal Falconiere

Hora		Movimento (3/1) - R. Marechal F. (R Pd. Pedro Pinto) / R. Marechal F. (Jd dos Comercíarios)					Movimento (3/2) - R. Marechal F. (R Pd. Pedro Pinto) / Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado)					Movimento (3/4) - R. Marechal F. (R Pd. Pedro Pinto) / Av. Vilarinho (Rib. Das Neves)				
Início	Fim	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009
06:00	07:00	1	7	0	16.75	27.64	3	0	1	5.00	8.25	18	10	0	40.50	66.83
07:00	08:00	7	8	2	29.00	47.85	4	0	0	4.00	6.60	26	6	5	49.50	81.68
08:00	09:00	15	8	0	33.00	54.45	6	0	2	10.00	16.50	33	7	5	58.75	96.94
09:00	10:00	13	8	2	35.00	57.75	2	0	0	2.00	3.30	18	8	3	42.00	69.30
10:00	11:00	19	10	0	41.50	68.48	9	0	0	9.00	14.85	24	3	1	32.75	54.04
11:00	12:00	29	5	3	46.25	76.31	5	0	1	7.00	11.55	23	2	2	31.50	51.98
12:00	13:00	11	3	2	21.75	35.89	1	0	0	1.00	1.65	11	1	3	19.25	31.76
13:00	14:00	21	7	4	44.75	73.84	4	0	0	4.00	6.60	24	5	5	45.25	74.66
14:00	15:00	11	3	1	19.75	32.59	1	0	0	1.00	1.65	20	2	2	28.50	47.03
15:00	16:00	13	2	0	17.50	28.88	2	0	0	2.00	3.30	20	1	1	24.25	40.01
16:00	17:00	14	7	3	35.75	58.99	6	0	0	6.00	9.90	25	6	6	50.50	83.33
17:00	18:00	33	9	1	55.25	91.16	3	0	0	3.00	4.95	46	7	8	77.75	128.29
18:00	19:00	32	9	2	56.25	92.81	8	1	2	14.25	23.51	60	8	0	78.00	128.70
19:00	20:00	25	10	1	49.50	81.68	2	0	1	4.00	6.60	37	7	1	54.75	90.34
20:00	21:00	21	11	0	45.75	75.49	2	0	0	2.00	3.30	28	7	0	43.75	72.19
21:00	22:00	13	9	0	33.25	54.86	0	0	1	2.00	3.30	27	2	0	31.50	51.98

Tabela 9.21 - Cruzamento da Avenida Vilarinho com a Rua Marechal Falconiere - fluxo proveniente da Avenida Vilarinho, sentido centro

Hora		Movimento (4/1) - Av. Vilarinho (Rib. Das Neves) / R. Marechal F. (Jd dos Comercíarios)					Movimento (4/2) - Av. Vilarinho (Rib. Das Neves) / Av. Vilarinho (Av. Cristiano Machado)					Movimento (4/3) - Av. Vilarinho (Rib. Das Neves) / R. Marechal F. (R Pde Pedro Pinto)					Movimento (4/4) - Av. Vilarinho (Rib. Das Neves) / Av. Vilarinho (Rib. das Neves)				
Início	Fim	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009	Carros	Ônibus	Caminhões	UVP Diário 2000	UVP Diário 2009
06:00	07:00	4	0	0	4.00	6.60	370	56	25	546.00	900.90	3	0	0	3.00	4.95	8	0	0	8.00	13.20
07:00	08:00	17	0	2	21.00	34.65	467	30	41	616.50	1017.23	3	0	1	5.00	8.25	19	0	6	31.00	51.15
08:00	09:00	10	0	1	12.00	19.80	228	15	37	335.75	553.99	3	1	2	9.25	15.26	20	1	7	36.25	59.81
09:00	10:00	17	0	1	19.00	31.35	265	21	35	382.25	630.71	2	0	8	18.00	29.70	18	1	10	40.25	66.41
10:00	11:00	24	0	2	28.00	46.20	272	9	32	356.25	587.81	6	1	12	32.25	53.21	30	0	13	56.00	92.40
11:00	12:00	17	0	2	21.00	34.65	280	13	36	381.25	629.06	3	1	0	5.25	8.66	10	0	4	18.00	29.70
12:00	13:00	13	2	4	25.50	42.08	297	16	31	395.00	651.75	7	0	0	7.00	11.55	12	0	2	16.00	26.40
13:00	14:00	10	0	1	12.00	19.80	299	12	43	412.00	679.80	3	0	0	3.00	4.95	7	0	2	11.00	18.15
14:00	15:00	15	0	0	15.00	24.75	324	18	47	458.50	756.53	5	0	0	5.00	8.25	13	0	3	19.00	31.35
15:00	16:00	14	1	1	18.25	30.11	261	22	40	390.50	644.33	0	0	0	0.00	0.00	13	0	11	35.00	57.75
16:00	17:00	14	0	2	18.00	29.70	293	35	57	485.75	801.49	3	0	1	5.00	8.25	17	0	2	21.00	34.65
17:00	18:00	30	0	0	30.00	49.50	384	31	35	523.75	864.19	7	1	2	13.25	21.86	33	0	2	37.00	61.05
18:00	19:00	26	3	0	32.75	54.04	340	22	40	469.50	774.68	6	0	2	10.00	16.50	60	0	0	60.00	99.00
19:00	20:00	23	0	0	23.00	37.95	286	24	20	380.00	627.00	5	2	2	13.50	22.28	39	1	0	41.25	68.06
20:00	21:00	36	1	0	38.25	63.11	263	21	17	344.25	568.01	1	2	0	5.50	9.08	44	0	0	44.00	72.60
21:00	22:00	14	0	0	14.00	23.10	212	13	13	267.25	440.96	1	0	0	1.00	1.65	16	0	0	16.00	26.40

Anexo VII – Manchas de inundação para chuvas de projeto para a Bacia do Córrego Vilarinho

As manchas de inundação apresentadas a seguir foram obtidas a partir da modelagem hidráulica e hidrológica, realizada através do programa SWMM. São manchas georreferenciadas, onde foi adotada a variação topográfica da região.

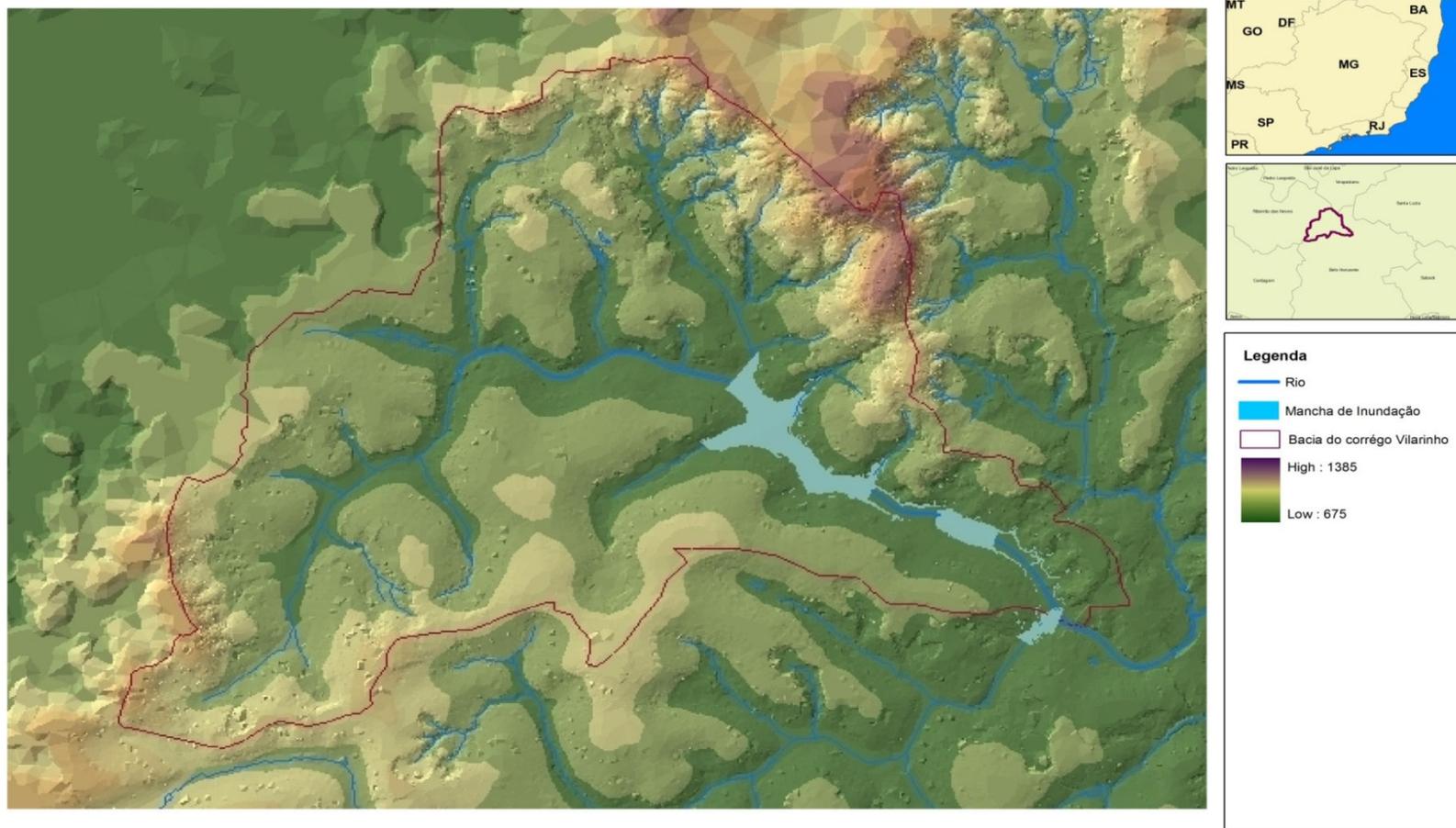
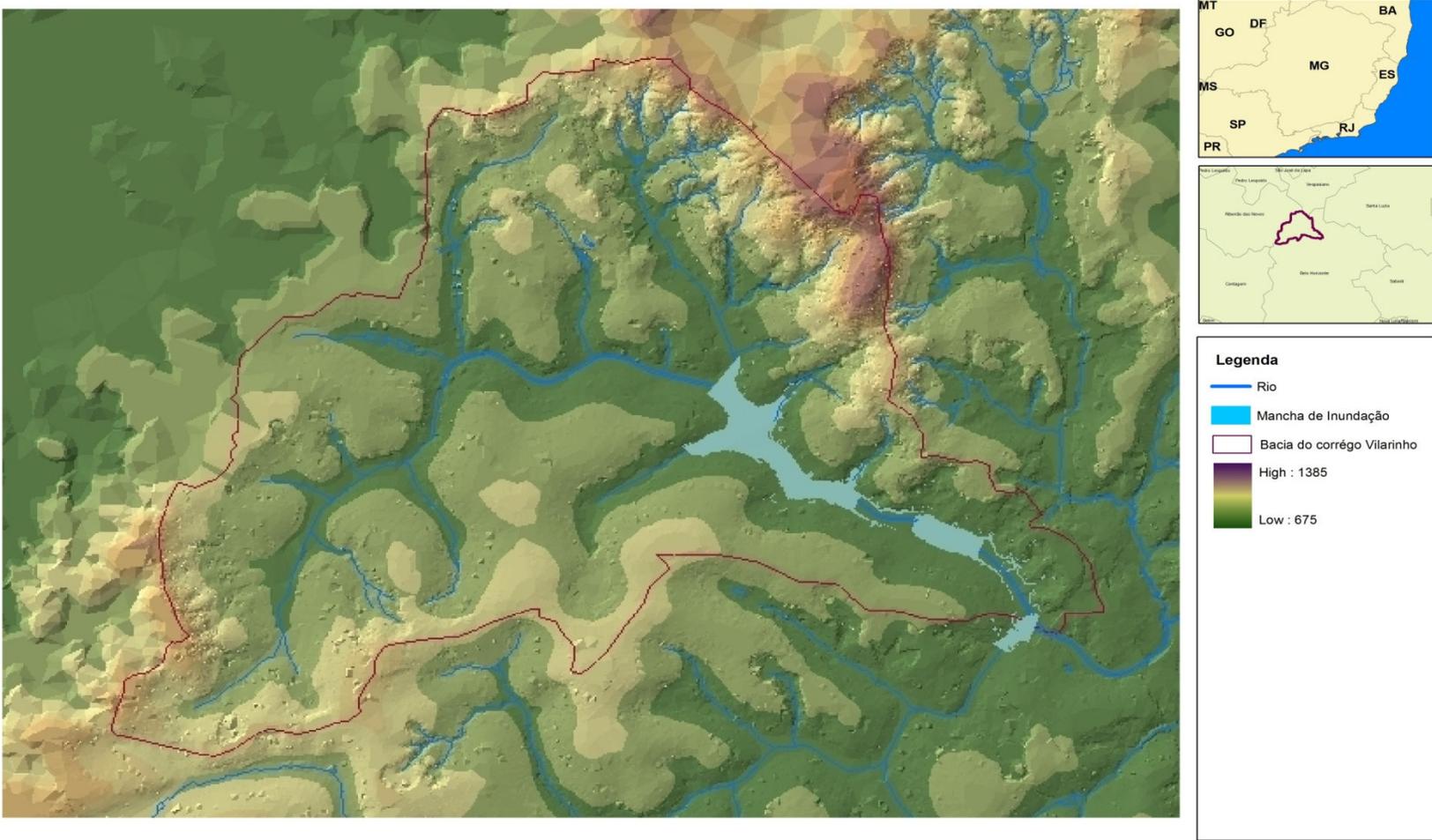


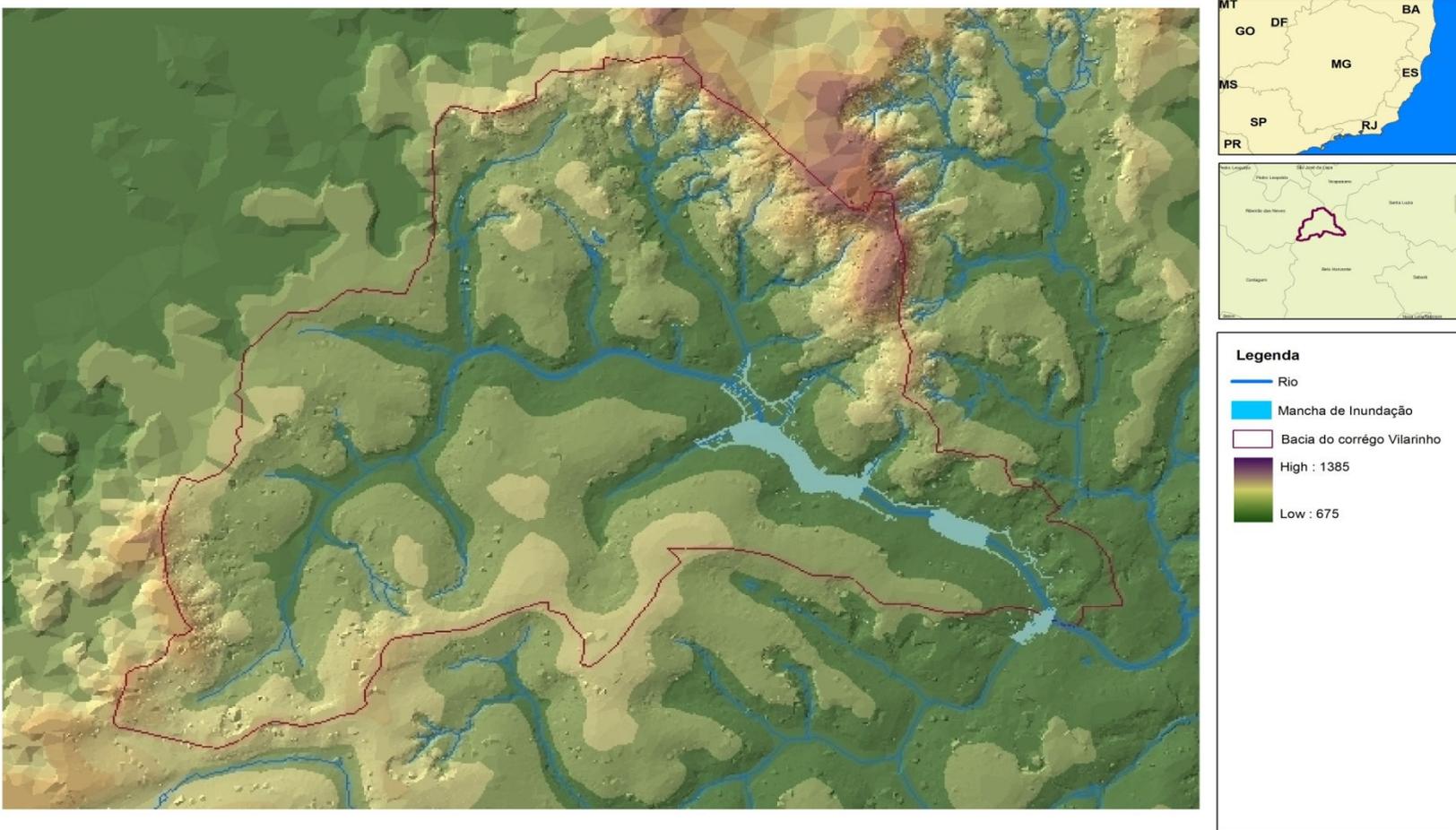
Figura 9.5 - Mancha de inundação para uma chuva de 50 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração



Imagens e Bases Cartográficas:
 IBGE
 Geominas
 PBH

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD-69 Fuso: 23 Sul

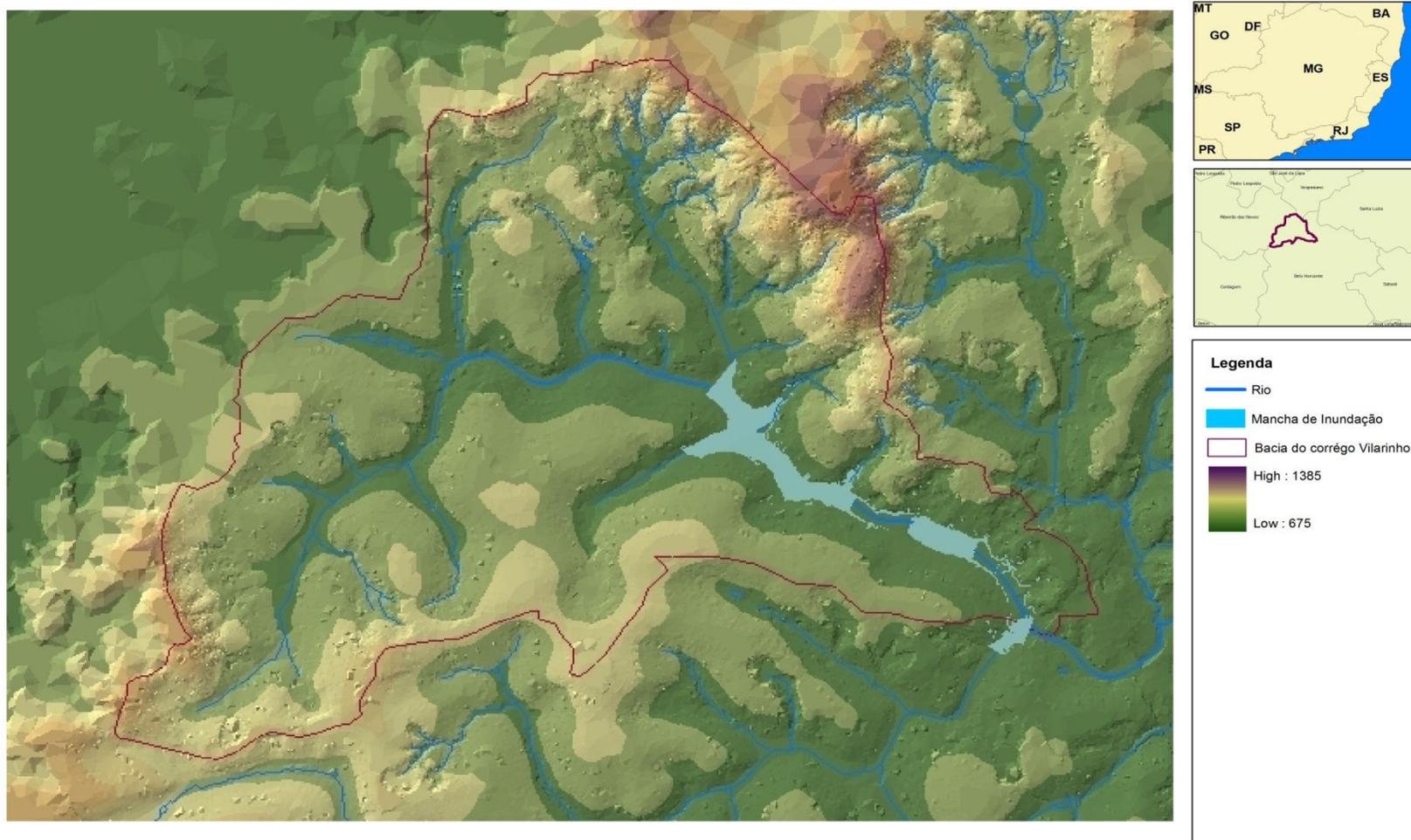
Figura 9.6 - Mancha de inundação para uma chuva de 100 anos de tempo de retorno e 90 minutos de duração



Imagens e Bases Cartográficas:
 IBGE
 Geominas
 PBH

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD-69 Fuso: 23 Sul

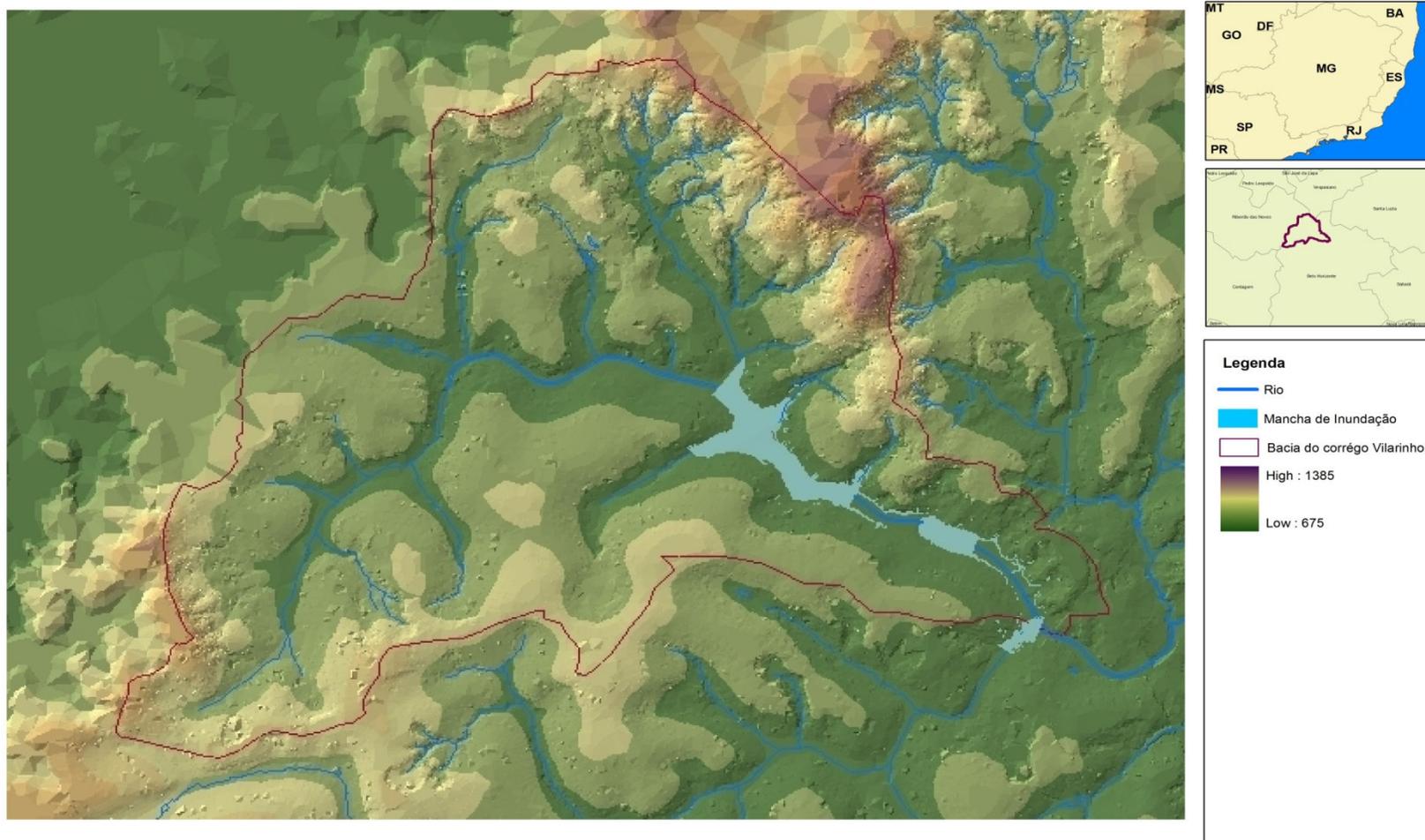
Figura 9.7 - Mancha de inundação para uma chuva de 25 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração



Imagens e Bases Cartográficas:
 IBGE
 Geominas
 PBH

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD-69 Fuso: 23 Sul

Figura 9.8 - Mancha de inundação para uma chuva de 50 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração



Imagens e Bases Cartográficas:
 IBGE
 Geominas
 PBH

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum Horizontal: SAD-69 Fuso: 23 Sul

Figura 9.9 - Mancha de inundação para uma chuva de 100 anos de tempo de retorno e 2 horas de duração

Anexo VIII – Mapeamento dos resultados

Vias de tráfego inundadas: Após análise das manchas de inundação, nota-se que as vias de tráfego inundadas não sofrem grande alteração quanto ao tempo de retorno e duração das chuvas. A duração das inundações, porém, varia significativamente. A descrição das vias inundadas pode ser analisada na Tabela 9.22 e na Tabela 9.23.

Tabela 9.22 - Cruzamentos inundados

Duração da chuva	Vias inundadas	Chuvas de 25 anos de tempo de retorno	Chuvas de 50 anos de tempo de retorno	Chuvas de 100 anos de tempo de retorno
90	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	X	X	X
	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	X	X	X
	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	X	X	X
	Av. Vilarinho, após Av. Liege	X	X	X
120	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	X	X	X
	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	X	X	X
	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	-	X	X
	Av. Vilarinho, após Av. Liege	-	X	X

Tabela 9.23 - Duração da inundação por cruzamento

Duração da inundação	Vias inundadas		Duração da inundação (min)		
			Chuvas de 25 anos de tempo de retorno	Chuvas de 50 anos de tempo de retorno	Chuvas de 100 anos de tempo de retorno
Até 10 minutos	1	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	-	-	
	2	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	-	-	-
	3	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	-	-	-
	4	Av. Vilarinho, após Av. Liege	10	-	-
De 11 à 30 minutos	1	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	25	27	X
	2	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	26	26	X
	3	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	12	21	28
	4	Av. Vilarinho, após Av. Liege	-	20	27
De 31 à 45 minutos	1	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	-	-	37
	2	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	-	-	36
	3	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	-	-	-
	4	Av. Vilarinho, após Av. Liege	-	-	-
De 45 à 60 minutos	1	Av. Vilarinho, próximo à Av. Alvaro Camargo e à Rua Maçon Ribeiro	-	-	-
	2	Av. Vilarinho, próximo à Av. Dois	-	-	-
	3	Av. Vilarinho, próximo à Av. Baleares	-	-	-
	4	Av. Vilarinho, após Av. Liege	-	-	-

Desvios propostos: o Quadro 9.1 apresentado a seguir indica quais desvios foram utilizados no modelo de transportes. Foram modelados desvios sem antecedência temporal e com antecedência de dez e trinta minutos. Verificou-se que o tempo de antecedência ideal para forçar os desvios é de 10 minutos. A codificação dos cruzamentos proposta aqui pode ser consultada na Tabela 9.23.

Quadro 9.1 - Desvios propostos

Sentido	Cruzamento	Início do desvio	Fim do desvio
Bairro	1	Rua Marciana Carneiro	Av. Edgar Torres
	2	Rua Medéia	-
	3	Rua Medéia	-
	4	Rua Medéia	R. Jair Negrão de Lima
Centro	1	Rua Quinana	Av. D. Pedro I
	2	Rua Marechal Falconiere	-
	3	Rua Marechal Falconiere	-
	4	Rua Marechal Falconiere	Av. D. Pedro I