

N. CLASS.	M627.42
CUTTER	T629i
ANO/EDIÇÃO	2015

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS-UNIS/MG

AGNES RODRIGUES TOBIAS

**INUNDAÇÕES ORIUNDAS DE ENCHENTES DO RIBEIRÃO SANTANA NO  
BAIRRO SANTA MARIA EM VARGINHA-MG**

VARGINHA

2015

**CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS - UNIS/MG**  
**ENGENHARIA CIVIL**  
**AGNES RODRIGUES TOBIAS**

**INUNDAÇÕES ORIUNDAS DE ENCHENTES: Estudo de Caso do ribeirão**  
**Santana no bairro Santa Maria em Varginha - MG**

**Varginha**  
**2015**

**AGNES RODRIGUES TOBIAS**

**INUNDAÇÕES ORIUNDAS DE ENCHENTES: Estudo de Caso do ribeirão Santana no  
bairro Santa Maria em Varginha - MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Centro Universitário do Sul de  
Minas – UNIS MG como requisito parcial para  
a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Área de habilitação: Macrodrenagem

Orientador: Professor Dr. Leopoldo Uberto R.  
Júnior.

**Varginha  
2015**

**AGNES RODRIGUES TOBIAS**

**INUNDAÇÕES ORIUNDAS DE ENCHENTES: Estudo de Caso do ribeirão Santana no  
bairro Santa Maria em Varginha - MG**

Trabalho de conclusão de curso de graduação  
apresentado ao Centro Universitário do Sul de  
Minas – UNIS MG como requisito parcial para  
a obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia Civil.

Aprovado em 16/ 06 /2015

---

Prof. Dr. Leopoldo Uberto Ribeiro Júnior.

---

Profª. Ms. Ivana Prado de Vasconcelos

OBS.:

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que iluminou, protegeu e deu forças para nunca desistir desta longa caminhada e em especial agradeço pela vida concedida.

Aos meus familiares e namorado pelo incentivo e carinho sempre prestados.

Em especial aos meus pais Nilza e Tobias, que não me deixaram fraquejar em nenhum momento, incentivando e apoiando sempre meus estudos. Sem vocês não seria quem eu sou.

## AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus por permitir a conclusão deste trabalho me dando força, fé e perseverança.

Meus sinceros agradecimentos àqueles sem os quais certamente não teria concluído mais esta etapa da minha formação sem o apoio e incentivo.

Aos verdadeiros mestres que nos mostraram os caminhos nem sempre fáceis, porém satisfatórios, dedicando-se a nós.

Agradecimentos especiais ao Professor Doutor Leopoldo Uberto Ribeiro Junior, que me ajudou durante todo o processo de conclusão de curso e antecedente a ele. Com sua ajuda o trabalho foi efetuado.

Aos meus colegas de trabalho pela paciência e compreensão, em especial à Paula Gonçalves Reis pela ajuda proporcionada, juntamente os professores e colegas do curso de Engenharia Civil que contribuíram imensamente na produção do conhecimento.

Meus queridos familiares agradeço por acreditarem em minhas capacidades, em especial ao meu irmão Hugo.

Renan te agradeço pela paciência e pelo estímulo de sempre seguir em frente em busca de minhas realizações.

Às minhas madrinhas Rosangela e Luci, agradeço o acolhimento e o ombro sempre amigo para me escutar e me indicar com responsabilidade os caminhos a seguir.

Agradeço aos meus amigos Flávio e José Geraldo pela colaboração, ajuda e incentivo.

“O pessimista vê dificuldade em cada oportunidade; o otimista vê oportunidade em cada dificuldade.”

Winston Churchill



## RESUMO

Caracterizando-se a enchente como o excesso do volume de água, a drenagem deve considerar as características dos corpos receptores, da topografia e do índice de permeabilidade da área natural. Para o planejamento urbano, deverão ser consideradas situações extremas, para a satisfação no sistema. A cidade de Varginha/ MG, mais precisamente ao longo do ribeirão Santana no bairro Santa Maria sofre com problemas de cheias em épocas de chuvas intensas e contínuas isso devido à urbanização ao redor do canal e as consequências acarretadas junto a esse desenvolvimento. O presente trabalho realiza uma análise sobre o sistema de macrodrenagem que envolve o ribeirão e o seu ponto principal de alagamento que situa-se na ponte de cruzamento entre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e Avenida dos Imigrantes. Para a caracterização do estudo do tema proposto foram realizadas pesquisas para obtenção de registros fotográficos, levantamento em campo, entrevistas com moradores, pesquisa bibliográficas, utilização de mapas e imagens de satélite, etc. Foi possível identificar que o canal sofre com falta de manutenção e adaptação do seu sistema de drenagem. Contudo, este trabalho tem por objetivo considerar as características hidrológicas da bacia de contribuição, assim como as características hidráulicas e físicas do canal, a fim de diagnosticar impactos e falta de planejamento de macrodrenagem e quais são os principais problemas de fato que impedem eventualmente o bom desempenho do mesmo.

**Palavras chave:** Drenagem urbana, Enchentes, Planejamento urbano, Ribeirão Santana.



## **ABSTRACT**

*Being the excess flood water flow, drainage should consider the characteristics of receiving bodies, topography and permeability of the natural area index. For urban planning, extreme situations should be considered to satisfy the system. The city of Varginha / MG, specifically along the creek Santana in the neighborhood Santa Maria suffers from flooding problems in intense rainy seasons and you keep it because of urbanization around the canal and the consequences entailed with this development. This paper carries out an analysis of the macro drainage system surrounding the creek and its main point of flooding that is located at the crossroads of Zoroaster Avenue Franco de Carvalho and Immigrants Avenue. It characterizes the proposed theme of the study was conducted research to obtain photographic records, field survey, interviews with residents, bibliographic research, use of maps and satellite images, etc. It was possible to identify the channel suffers from lack of maintenance and adjustment of its drainage system. However, this study aims to consider the hydrological characteristics of the contribution basin, as well as hydraulic and physical characteristics of the channel in order to diagnose impacts and lack of macro drainage plan and what are the main problems the fact that eventually impede the smooth channel performance.*

**Keywords:** *Urban drainage, Floods, Urban planning, Ribeirão Santan*

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Etapas do planejamento urbano de uma bacia.....	14
Figura 2. Distribuição percentual da população urbana prevista para 2025 .....	16
Figura 3. Conjunto de terras drenadas por um rio principal.....	18
Figura 4. Vista de uma típica área de captação. ....	18
Figura 5. Aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização.....	31
Figura 6. Tendência da ocupação e impacto .....	32
Figura 7. Bacia Hidrográfica do Rio Grande .....	38
Figura 8. Curvas de nível geradas com auxílio do Global Mapper. ....	40
Figura 9. Indicação do trecho estudado.....	40
Figura 10. Indicação da ponte estudada no ribeirão Santana ao longo do bairro Santa Maria	42
Figura 11. Seção do Ribeirão .....	42
Figura 12. Seção da Ponte .....	43
Figura 13. Representação da folga da borda livre no canal trapezoidal.....	47
Figura 14. Representação da seção retangular .....	48
Figura 15. Ponte sob o Ribeirão situada entre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e a Avenida dos Imigrantes.....	50
Figura 16. Inundações ocorridas imagens A e B em Janeiro 2007 e imagens C e D em Fevereiro de 2013 .....	51

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Coeficiente de Runoff adotado por zonas de ocupação .....	21
Tabela 2. Período de retorno para diferentes obras hidráulicas.....	23
Tabela 3. Valores máximos recomendáveis para velocidade em canais.....	26
Tabela 4. Valores mínimos recomendáveis para velocidade em canais .....	27
Tabela 5. Coeficiente de Manning.....	28
Tabela 6. Geometria dos canais abertos.....	29
Tabela 7. Média da vazão máxima anual de três bacias tomadas como referência. ....	44



## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>11</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>12</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	12
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>13</b>
3.1 MACRODRENAGEM URBANA .....	13
3.2 PLANEJAMENTO URBANO .....	14
3.3 HIDROLOGIA .....	16
3.3.1 Bacia hidrográfica.....	17
3.3.2 Precipitação.....	19
3.3.3 escoamento superficial.....	20
3.3.4 Tempo de concentração .....	22
3.3.5 Período de retorno .....	22
3.3.6 Determinação da vazão de uma bacia .....	24
3.3.6 Método de Gumbel.....	25
3.3.7 Determinações da velocidade.....	26
3.4 ANÁLISE HIDRÁULICA .....	27
3.4.1 Dimensionamento de conduto livre .....	27
3.5 INUNDAÇÕES URBANAS .....	30
3.5.1 Principais fatores de inundações urbanas.....	33
3.6 MEDIDAS DE CONTROLE DE INUNDAÇÕES .....	35
3.6.1 Medidas estruturais .....	35
3.6.2 Medidas não estruturais .....	35
<b>4 MATERIAL E MÉTODO</b> .....	<b>37</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BACIA ESTUDADA .....	37
4.2 ANÁLISE DO CASO .....	38
4.3 DETERMINAÇÃO DA ÁREA DE CONTRIBUIÇÃO EM ESTUDO.....	39
4.4 CARACTERÍSTICAS DO TRECHO ESTUDADO .....	41
4.4.1 Vazão da bacia .....	43
4.4.2 Vazão do canal .....	46
4.4.3 Vazão da ponte.....	48
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>50</b>
<b>6 INDICATIVO DE SOLUÇÕES</b> .....	<b>52</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>54</b>
<b>9 ANEXOS</b> .....	<b>59</b>
Anexo 1: Série histórica da bacia de Guaxupé.....	59
Anexo 2: Série histórica da bacia de Usina Bocainas.....	61

## 1 INTRODUÇÃO

Com a globalização e o aumento dos centros urbanos, a consequente impermeabilização de suas áreas tem provocado o aumento do escoamento superficial e, portanto, a necessidade de se definir técnicas de drenagem compatíveis com a localidade é imprescindível.

O processo de urbanização é o principal fator responsável pelos problemas relacionados às enchentes urbanas, aumentando a frequência e os níveis das cheias. Essa ampliação urbana cria a necessidade de implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais junto a outros melhoramentos para evitar ou reduzir a exposição da população e das propriedades ao risco de inundações, minimizar os problemas visando o bem estar ambiental e social.

A microdrenagem é um sistema composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões.

Já o sistema de macrodrenagem é composto por canais de maiores dimensões dando prosseguimento ao escoamento dos deflúvios oriundos da microdrenagem.

Ao se implantar o sistema de microdrenagem, a vazão de cheias dos cursos de água aumenta, estabelecendo-se assim, a necessidade de se implantar um sistema de macrodrenagem equivalente.

Com a comparação entre a vazão calculada e vazão real existente, verifica-se o equilíbrio fluvial (condição estável entre a descarga líquida, transporte de sedimentos e erosão) e, por conseguinte de acordo com os resultados obtidos, empregar algumas medidas que permitam manter esse equilíbrio, sugerir medidas a serem implantadas como prevenção e correção aos efeitos das cheias.

O desafio são as cidades (administração do Governo) e a população que muitas vezes não respeitam ou não preveem os riscos naturais, gerando então o transbordamento causado pelo aumento da vazão não prevista, este fenômeno natural pode causar transtornos e até se tornar catastrófico.

Assim a presente pesquisa busca esclarecer as causas das eventuais inundações e propor alternativas para atenuar estes problemas que são motivo de preocupação para os moradores da Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e demais moradores próximos em períodos chuvosos que sofrem com a probabilidade de o curso do ribeirão extravasar.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem por objetivo avaliar as principais causas de enchente do ribeirão Santana no trecho localizado na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho, bairro Santa Maria na cidade de Varginha - MG analisando a vazão real e a vazão decorrente das altas precipitações, avaliando medidas de proteção e controle de inundações para o trecho proposto.

### **2.2 Objetivos específicos**

A realização deste trabalho se dará pelo conjunto de objetivos específicos que serão descritos a seguir:

- Fazer um levantamento in loco e caracterizar a situação do ribeirão;
- Caracterizar e diagnosticar o evento das cheias no trecho da Avenida Zoroastro Franco de Carvalho, onde o ribeirão faz curso;
- Detectar outros possíveis problemas que possam ser minimizados visando o melhoramento do fluxo do canal frente à característica das precipitações do município;
- Identificar e propor possíveis melhorias para o controle das inundações possibilitando a redução dos impactos decorrentes das cheias.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Macrodrenagem urbana

De acordo com Martins (1995), a principal função da macrodrenagem é dar condição de escoamento às águas drenadas pela bacia hidrográfica, através do sistema de microdrenagem. A macrodrenagem tem se mostrado cada vez mais importante devido ao aumento da urbanização da bacia de drenagem, onde a microdrenagem faz com que as águas precipitadas na bacia cheguem mais rapidamente aos canais e afluentes, aumentando assim as vazões dos mesmos.

Segundo Netto (2001) as torrentes originadas pela precipitação direta sobre as vias públicas desembocam nos bueiros situados nas sarjetas. Estas torrentes quando somadas à água da rede pública proveniente dos coletores localizados nos pátios e das calhas situadas nos topos das edificações, são escoadas pelas tubulações que alimentam os condutos secundários, a partir do qual atingem o fundo do vale, onde o escoamento é topograficamente bem definido, mesmo que não haja um curso d'água perene. O escoamento no fundo do vale é o que determina o chamado sistema de macrodrenagem. O sistema responsável pela captação da água pluvial e sua condução até o sistema de macrodrenagem é denominado sistema de microdrenagem.

De acordo com a explicação de Tucci (1997) as estruturas de macrodrenagem têm como função a condução das águas captadas pela microdrenagem (captação primária), dando seqüência ao escoamento dos deflúvios das ruas, sarjetas, galerias e etc. De fato a macrodrenagem urbana correspondem a uma rede natural nos terrenos antes da ocupação humana, sendo constituídos pelos rios, riachos, córregos e etc.

No caso do sistema de microdrenagem de acordo com Pinto (2006) é composto por estruturas que conduzem as águas do escoamento superficial para as galerias ou canais urbanos. Constituem-se pelas redes coletoras de águas pluviais, poços de visita, sarjetas, bocas-de-lobo e meios-fios.

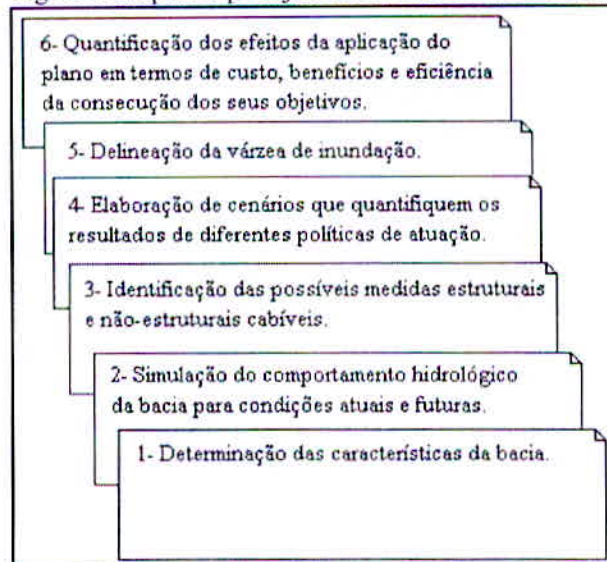
No dimensionamento hidráulico deve-se observar principalmente a vazão de projeto, que é a vazão calculada para o período de retorno e intensidade de chuva determinados no projeto e tipo de obra. A capacidade de vazão do dispositivo de controle, deve ser maior ou igual a vazão de projeto ( $QR \geq QP$ ); onde QR é a vazão real da seção, a capacidade hidráulica do dispositivo, e QP é a vazão de projeto, obtida pelos métodos de determinação de vazão, tendo-se como básica a equação de Manning. (MARTINS 1995)



A elaboração de um bom plano de drenagem não é tarefa fácil, pois, inicialmente devem-se adotar critérios básicos de planejamento conforme figura 1 para o sistema de drenagem inicial, macrodrenagem e desenvolvimento das obras. Normalmente existem interferências regionais em relação ao aproveitamento e controle dos recursos hídricos.

Os valores disponíveis para o desenvolvimento dessas obras nem sempre são pré-estabelecidos e o desenvolvimento pode ser prejudicado. (CETESB, 1980)

Figura 1. Etapas do planejamento urbano de uma bacia



Fonte: NETO (2014)

Justino (2004) afirma que as obras de macrodrenagem procuram melhorar as condições de escoamento para minimizar os problemas de erosão, assoreamento e inundações ao longo dos principais canais.

### 3.2 Planejamento urbano

Pode-se caracterizar a urbanização como um dos processos antrópicos que mais provocam impactos ao meio, principalmente nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos. Trata-se de um conjunto de ações que têm consequências preocupantes, tanto sociais quanto ambientais. (TUCCI, 2003).

Conforme Philippi Jr. (2005) as atividades desenvolvidas nas cidades intervêm de forma direta no meio ambiente, modificando totalmente as relações entre os elementos dos ecossistemas. Tais mudanças podem ocorrer de forma harmoniosa sem muitos danos para o meio ambiente, isto quer dizer, quando os impactos negativos causados com o processo de

urbanização são minimizados, ou de forma avassaladora, quando o meio ambiente é degradado gerando prejuízos de várias ordens.

Faz-se necessário tratar as questões das águas pluviais e de seu manejo ao mesmo tempo em que se elabora o projeto de ordenamento urbano.

O planejamento territorial urbano tem sido usado como uma forma de ordenar o crescimento das cidades, de modo a minimizar os problemas decorrentes da urbanização. (MOTA, 1981).

Sendo assim, a organização do uso do solo urbano constitui uma importante ferramenta no processo de ordenação, resultando em uma adequada distribuição de atividades, evitando-se assim, os efeitos negativos sobre o ambiente de vida de seus habitantes.

Segundo Tucci (1997) o processo de urbanização acelerado influencia sob todo sistema urbano relativo aos recursos hídricos como abastecimento de água, transporte e tratamento de esgoto e drenagem pluvial.

A gestão territorial das áreas planas se reveste de grande importância já que se trata de domínios residuais, em franco processo de ocupação urbana e conseqüentemente da alteração da dinâmica de infiltração destes terrenos, cuja implicação mais imediata pode se traduzir na transferência direta para os vales de uma carga hídrica anteriormente destinada ao freático. Esta nova dinâmica pode influenciar no rebaixamento do nível da calha de algumas pequenas drenagens, potencializando a erosão remontante e acelerando o desmonte dos rebordos erosivos. (GOLDER/ FAHMA, 2005)

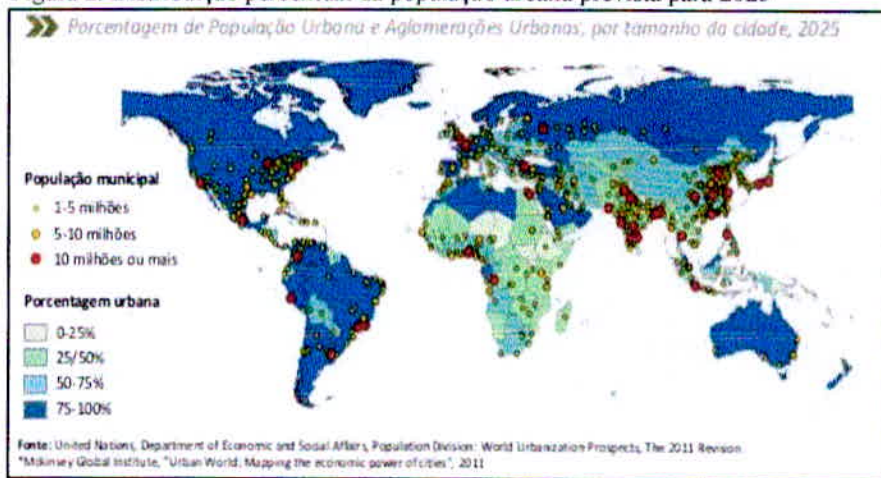
O processo de urbanização observado nos países em desenvolvimento apresenta grande concentração populacional com deficiências nos sistemas de transporte, de abastecimento e saneamento, problemas de contaminação do ar e da água e inundações. Estas condições ambientais inadequadas reduzem as condições de saúde e, portanto, afetam a qualidade de vida da população. Este aumento dos impactos ambientais negativos limita o adequado desenvolvimento. (TUCCI, 2003).

O desenvolvimento urbano tem produzido um impacto significativo na drenagem urbana, sobretudo no aumento da frequência e magnitude das inundações e na deterioração ambiental. Os mecanismos de ação ordenada que busquem equilibrar esse desenvolvimento com as condições ambientais das cidades são os Planos Diretores de Drenagem Urbana. A política desses planos usa critérios e princípios básicos de controle, de estratégias e de interfaces com outros planos, por exemplo, de esgotos sanitários, resíduos sólidos e de desenvolvimento. (TUCCI, 2002).



De acordo com dados divulgados pela ONU (2011) de acordo com a figura 2, a população das áreas urbanas cresce cerca de quatro vezes mais do que a zona na rural. Estima-se que até o ano de 2025 a população urbana alcançará o número de 5 bilhões de pessoas, praticamente o dobro da população atual. Isso significa que se deve considerar ainda que a questão é mais caótica, pois, as maiores taxas demográficas ocorrerão nos países pobres.

Figura 2. Distribuição percentual da população urbana prevista para 2025



Fonte: ONU (2011)

Crescimento da população, demanda por recursos naturais e geração de resíduos são três itens totalmente correlacionados e crescem de forma proporcional.

O planejamento urbano, portanto, visa à organização do espaço físico e a garantia de um meio ambiente que proporcione uma qualidade de vida imprescindível a seus habitantes.

Esse planejamento possibilita, também, que as atividades se desenvolvam de formas não conflitantes, possibilita as interações das atividades no espaço, através da locação dos sistemas de infraestrutura, e a própria gestão das atividades e sua interação no espaço.

### 3.3 Hidrologia

De acordo com Pinto (1976), a hidrologia é a ciência que trata do estudo da água na natureza.

Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à regularidade com que se verificam, basta lembrar-se dos efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o inadequado domínio do homem.

A hidrologia é a ciência que cuida do desenvolvimento e do controle dos recursos hídricos, ela é de fundamental importância para várias áreas de atuação profissional como Agronomia, Ciências Florestais, Manejo de Bacias Hidrográficas, Geografia, Economia, Sociologia, Engenharia (civil, hidráulica, sanitária, etc.), Ecologia, etc.(LIMA 2008).

Em síntese, o estudo da hidrologia compreende a coleta de dados básicos como, por exemplo, a quantidade de água precipitada ou evaporada e a vazão dos rios; a análise desses dados para estabelecimento de suas relações mútuas e o entendimento da influência de cada possível fator e, finalmente, a aplicação dos conhecimentos alcançados para a solução de inúmeros problemas práticos. Deixa de ser então uma ciência puramente acadêmica para se constituir em uma ferramenta imprescindível ao engenheiro, em todos os projetos relacionados com a utilização dos recursos hidráulicos. (PINTO 2006)

Ainda considerando Pinto (1976) os estudos hidrológicos baseiam-se na repetição dos regimes de precipitação e escoamento dos rios ao longo do tempo. Isto quer dizer que ainda que a sucessão histórica de vazões ou precipitações constatadas no passado não se repita exatamente para o futuro, suas grandes linhas mantêm-se aproximadamente as mesmas.

Sendo assim, a maneira de se encarar os estudos hidrológicos, no entanto, pode ser bastante distinta conforme se dê maior ênfase à interdependência entre os diversos fenômenos, procurando-se estabelecer suas relações de causa e efeito, ou se procure considerar a natureza probabilística de sua ocorrência.

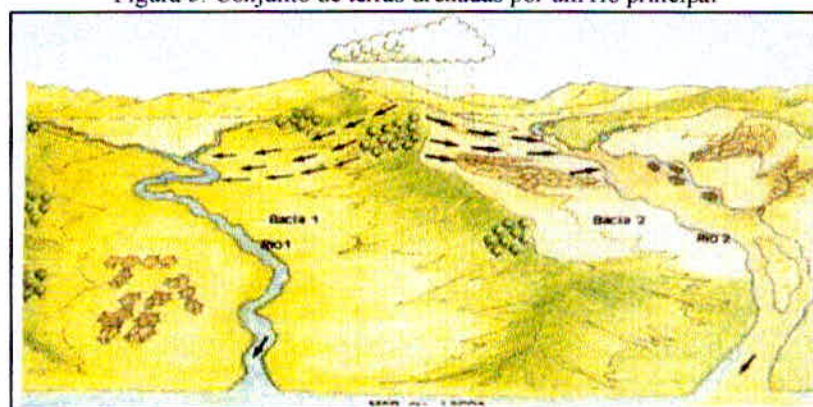
### 3.3.1 Bacia hidrográfica

O DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica -2005) define bacia hidrográfica como a região de captação natural da água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais para um único ponto de saída, também conhecida como bacia de contribuição.

A bacia hidrográfica de acordo com CBH (Comitê das Bacias Hidrográficas -2012) pode ser considerada como o conjunto de terras drenadas por um rio principal, seus afluentes e subafluentes conforme esquema da figura 3.



Figura 3. Conjunto de terras drenadas por um rio principal

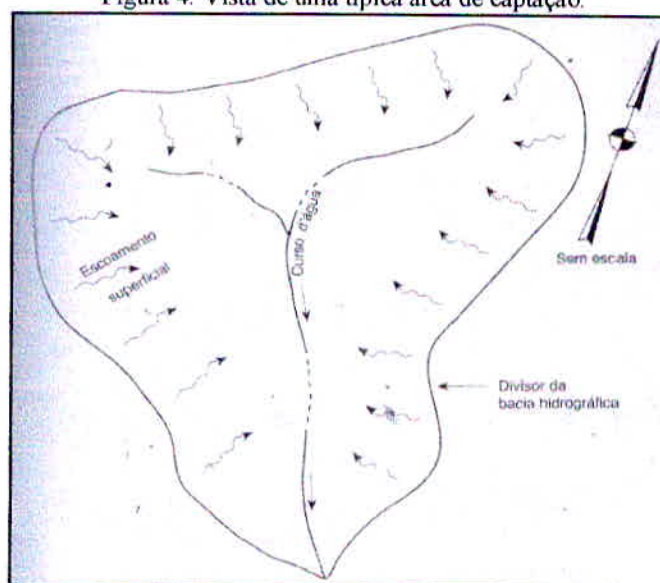


Fonte: CBH (2012)

De uma maneira geral, as águas decorrentes da chuva são lançadas em cursos d'água naturais, no oceano, em lagos ou, no caso de solos bastante permeáveis, esparramadas sobre o terreno por onde infiltram no subsolo. A escolha do destino da água pluvial deve ser feita segundo critérios éticos e econômicos, após análise cuidadosa e criteriosa das opções existentes. De qualquer maneira, é recomendável que o sistema de drenagem seja tal que o percurso da água entre sua origem e seu destino seja o mínimo possível.

Para a determinação da área de drenagem de acordo com Gribbin (2014) é preciso definir primeiramente o tamanho da área de incidência de chuva e então calcular a vazão no curso. Para todos os cursos d'água, uma área bem definida intercepta a chuva e a transporta até o curso d'água. A figura 4 mostra uma típica área de captação. Toda chuva que incide sobre a área segue seu caminho até o curso d'água.

Figura 4. Vista de uma típica área de captação.



Fonte: GRIBBIN (2014).

### 3.3.2 Precipitação

De acordo com Hansmann (2013) o fenômeno da precipitação é o elemento alimentador da fase terrestre do ciclo hidrológico e constitui, portanto, fator importante para os processos de escoamento superficial direto, infiltração, evaporação, transpiração, recarga de aquíferos, vazão básica dos rios e outros.

Quando se faz um estudo de planejamento de longo prazo do uso de uma ou mais bacias hidrográficas, a precipitação é um dado básico, pois não sofre influências diretas de alterações antrópicas provocadas no meio. As alterações do uso do solo, por exemplo, sobre as vazões escoadas, poderão ser avaliadas por modelos matemáticos que transformam as chuvas em vazões, e que consideram as variações de infiltração em função da área impermeável da bacia.

As principais características da precipitação são o seu total, duração e distribuição temporal e espacial, sendo que o total precipitado não tem significado se não estiver ligado a uma duração. A ocorrência da precipitação é um fenômeno aleatório. Assim, para a grande maioria dos problemas hidrológicos, o tratamento dos dados de precipitação frequentemente é realizado de modo estatístico. (TUCCI, 2002)

Por meio de observações das precipitações de um determinado local, durante um período de tempo que seja suficientemente longo e representativo, pode-se determinar uma relação entre três variáveis: intensidade, duração e frequência das precipitações. Estas variáveis permitem avaliar as precipitações máximas de diferentes durações e associadas a diferentes períodos de retorno. Considera-se intensidade, a quantidade de precipitação que corre em uma unidade de tempo para uma chuva de uma dada frequência e com uma duração igual ao tempo de concentração da bacia. (CETESB- Companhia Ambiental do Estado de São Paulo - 1980)

De acordo com Tucci (2004) e Garcez (1988) as grandezas que caracterizam uma chuva são:

- Altura Pluviométrica ( $P$  ou  $r$ ) é a espessura média da lâmina de água precipitada que recobre a região atingida pela precipitação, admitindo-se que não haja infiltração, evaporação nem escoamento para fora dos limites da região. A unidade de medida habitual é milímetro de chuva, definido como a quantidade de precipitação correspondente ao volume de 1 litro por cada  $m^2$  de superfície;



- Duração da precipitação ( $t$ ): é o período de tempo que compreende do início ao término da precipitação, sendo expresso geralmente em minuto ou hora;
- Intensidade da precipitação ( $i$ ) ou velocidade de precipitação: é a precipitação por unidade de tempo, obtida com a relação  $i=P/t$ , sendo expressa normalmente em mm/h ou em mm/min. A intensidade de uma precipitação representa a variedade temporal, mas, para análises hidrológicas, geralmente são definidos intervalos de tempo nos quais é considerada constante.
- Frequência da precipitação: é representada pelo número de ocorrências de uma dada precipitação em um intervalo de tempo fixado (1 mês, 10 anos, 100 anos, etc).
- Tempo de recorrência ( $Tr$ ): é o número médio de anos, em que se espera que a precipitação seja igualada ou superada;
- Probabilidade de ocorrência: corresponde ao inverso do tempo de recorrência.

Para medição das precipitações utiliza-se o pluviômetro ou pluviógrafo. O pluviômetro é um recipiente que coleta diretamente a água precipitada e impede a evaporação da água acumulada, fornecendo a altura da precipitação ( $h$ ) num determinado ponto. O pluviógrafo, além da altura de precipitação, fornece o registro contínuo da água da chuva recolhida no pluviômetro.

### 3.3.3 escoamento superficial

Durante e após chuvas intensas, boa parte da vazão que passa por um rio é a água da própria chuva, que não consegue penetrar no solo e escoar, atingindo os cursos d'água e aumentando a vazão. Desta forma são formados os picos de vazão e as enchentes. Esse escoamento rápido que ocorre em consequência direta das chuvas é chamado de escoamento superficial. SANTOS (2010)

Segundo Santos (2010) o coeficiente de escoamento superficial, ou coeficiente *Runoff*, ou coeficiente de deflúvio é definido como a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado. Este coeficiente pode ser relativo a uma chuva isolada ou relativo a um intervalo de tempo onde várias chuvas ocorreram.

O escoamento superficial e a sua formação é um dos temas mais complexos da hidrologia porque envolve as diversas características da bacia. Além disso, a água pode tomar



vários caminhos, desde o momento em que atinge a superfície, na forma de chuva, até o momento em que chega ao curso d'água.

O escoamento superficial direto, ou *Runoff* é gerado pelo excesso de precipitação. Após o início da chuva uma porção da água infiltra, abastecendo os lençóis subterrâneos e umedecendo a superfície do solo. Assim que o solo atinge a saturação, a água escoar sobre a superfície, uma vez que foi reduzida a capacidade de infiltração.

Santos (2010) ainda afirma que o excesso de água estará disponível para formar o escoamento superficial, que poderá ser acentuado nos casos de precipitações intensas. Essa parcela do escoamento é conhecida como precipitação efetiva ou deflúvio superficial direto e a sua importância está associada ao dimensionamento de obras hidráulicas, como barragens, terraços, bacias de contenção, canais coletores ou drenos de encosta, uma vez que é essencial na determinação da vazão máxima de projeto associada a uma frequência de ocorrência.

Segundo Lima (2008) as bacias longas e estreitas são mais dificilmente atingidas integralmente por chuvas intensas. A forma da bacia influencia no tempo de concentração, parâmetro do qual dependem os resultados das aplicações dos modelos analisados neste estudo.

Usualmente, o coeficiente de escoamento é determinado em função da ocupação do solo, conforme a tabela 1:

Tabela 1. Coeficiente de Runoff adotado por zonas de ocupação

ZONAS DE OCUPAÇÃO	C
<i>Edificação muito densa:</i> Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas.	0,70 - 0,95
<i>Edificação não muito densa:</i> Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 - 0,70
<i>Edificações com poucas superfícies livres:</i> Partes residenciais com construções fechadas, ruas pavimentadas.	0,50 - 0,60
<i>Edificações com muitas superfícies livres:</i> Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas	0,25 - 0,50
<i>Subúrbios com alguma edificação:</i> Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção	0,10 - 0,25
<i>Matas, parques e campos de esporte:</i> Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados, campos de esporte sem pavimentação.	0,05 - 0,20

Fonte: Wilken (1999)

### 3.3.4 Tempo de concentração

A determinação do tempo de concentração é imprescindível para a determinação das vazões de projeto a partir de dados de chuva.

De acordo com Villela e Mattos (1975), o tempo de concentração é o intervalo de tempo contado desde o início da precipitação até o instante em que toda a bacia hidrográfica correspondente contribua para o escoamento, numa dada seção.

Segundo Botelho (2011) o tempo de concentração de uma bacia é o tempo necessário de precipitação para que toda a seção considerada da bacia contribua. Entende-se que para saber a máxima vazão que ocorre em uma bacia, basta igualar o tempo de concentração da bacia ao tempo de duração da chuva.

Pinto (1976) descreve o tempo de concentração de uma bacia hidrográfica como correspondente à duração da trajetória da partícula de água que demore mais tempo para atingir a seção em estudo.

As intensidades das chuvas tendem a diminuir com a duração.

Assim, considera-se que as chuvas que potencialmente podem causar as maiores vazões em uma bacia hidrográfica sejam as chuvas cuja duração seja igual ao tempo de concentração da bacia. Isto faz com que exista pelo menos um momento em que toda a bacia esteja contribuindo para aumentar a vazão que está saindo.

Assim, normalmente, se admite que as chuvas de projeto tenham duração igual, ou muito semelhante, ao tempo de concentração da bacia. Considerando que para pequenas bacias hidrográficas, na maioria dos casos, não se dispõe de dados simultaneamente de dados pluviométricos e fluviométricos que permitam a determinação experimental do tempo de concentração, na literatura corrente estão disponíveis diversas fórmulas empíricas para estimativa do tempo de concentração em função das características da bacia hidrográficas.

### 3.3.5 Período de retorno

Para Tomaz (2011) tempo de retorno é o período de tempo médio que um determinado hidrológico é igualado pelo menos uma vez.



É um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedouros, bueiros, galerias de águas pluviais etc. (RIGHETO, 1998)

De acordo com Hansmann (2013) O tempo de retorno representa o inverso da frequência com que um evento pode ser igualado ou superado, ou seja, reflete a probabilidade com que uma dada variável hidrológica possa ser igualada ou superada, pelo menos uma vez, num ano qualquer.

Muitas entidades fixam os períodos de retorno para diversos tipos de obra como critério de projeto. Os valores da tabela 2 são comumente encontrados na literatura técnica e desfrutam de certo consenso internacional.

Tucci (1963) afirma que ao decidir o período de retorno  $T$  para uma obra, automaticamente decide-se o grau de proteção conferido a população. Níveis altos de segurança implicam, portanto, em custos elevados e grandes interferências no ambiente urbano. Minimizar custos e interferências é importante para projetos de drenagem, porém não devem ser alcançados pela escolha de períodos de retorno inadequadamente pequenos.

Segundo Tucci (1965) muitas entidades fixam períodos de retorno para diversos tipos de obra como critérios de projeto.

Tabela 2. Período de retorno para diferentes obras hidráulicas

<b>Obra Hidráulica</b>	<b>Período de retorno (anos)</b>
Bueiros	2 a 10
Galeria de águas pluviais	5 a 20
Pequenas barragens de concreto para abastecimento de água	50 a 100
Canalização a céu aberto trapezoidal	50
Canalização a céu aberto retangular	100
Travessias: pontes, bueiros e estruturas afins.	100
Barragem de concreto	500
Extravasor de uma barragem de terra	1.000
Vertedor de grandes barragens	10.000

Fonte: DAEE (2005)

Segundo Hasmann (2013), o período de retorno é definido como tempo médio, em anos, que um evento hidrológico (chuva, vazão) pode ser igualado ou superado. A fixação do período de retorno para uma obra hidráulica depende do porte da obra e também do risco de falha que se deseja assumir durante a sua vida útil.

### 3.3.6 Determinação da vazão de uma bacia

De acordo com Tucci (2004) a estimativa das vazões máximas possui importância fundamental na determinação dos custos e da segurança dos projetos de engenharia, servindo de base para a aplicação de medidas de ordem estrutural e não estrutural visando o controle e atenuação das cheias.

A determinação da vazão máxima é importante em uma bacia, pois ela representa a disponibilidade hídrica máxima. Ela é a maior vazão que pode ser regularizada, permitindo a avaliação dos limites superiores do uso da água de um manancial para as diferentes finalidades. (TUCCI, 2002)

Muitos métodos estão disponíveis na literatura corrente para a estimativa de vazões máximas de projeto, deve-se optar pelo mais adequado a área de estudo.

O conceito de pequena, média ou grande bacia é um conceito variável entre os hidrólogos, no qual a mesma bacia pode ser considerada pequena por um e média por outro.

Segundo Tomaz (2011) para calcular a vazão de pico de uma determinada bacia, considerando uma seção de estudo, pode ser utilizado o método racional.

O método racional deve ser aplicado somente para pequenas bacias, ou seja, com área de drenagem inferior a 3 km<sup>2</sup> ou quando o tempo de concentração for inferior à uma hora. (PORTO, 1993)

Em pequenas bacias, com chuvas de curta duração, poderá ser adotado o método racional. Já em bacias maiores, com chuvas mais demoradas, ou em casos em que se deseja, além da vazão máxima, o volume das cheias, é necessário utilizar modelos baseados em dados probabilísticos.

A regionalização da sua distribuição estatística pode ser realizada com base em duas etapas: curva adimensional de probabilidade de vazões médias anuais e equação da regressão entre a vazão média de longo período ( $Q_{lp}$ ) e as características físicas e climáticas da bacia.

Esta curva retrata a parcela do tempo em que uma determinada vazão é igualada ou superada durante o período analisado (TUCCI, 2002).



Segundo o autor, para a regionalização, um procedimento mais pragmático é o ajuste de uma equação empírica ao trecho de interesse. O ajuste da curva exponencial geralmente apresenta resultados satisfatórios somente para a faixa de valores dos pontos utilizados para seu ajuste.

De acordo com Santos (2010) apesar da incerteza da transformação dos dados de chuva em vazão, a indisponibilidade de dados fluviométricos em bacias hidrográficas de interesse faz com que os engenheiros e hidrólogos busquem métodos que permitam transformar os dados de chuva, geralmente disponíveis em maior quantidade, em dados de vazão.

Uma metodologia bastante utilizada para a determinação da vazão em um local sem dados supõe que a proporcionalidade linear entre as áreas é obedecida pela vazão, ou em outras palavras, toma-se a vazão específica de um local mais próximo com dados e multiplica-se esta vazão específica pela área do local sem dados.

Muitos métodos estão disponíveis na literatura corrente para a estimativa de vazões máximas de projeto, deve-se optar pelo mais adequado a área de estudo. Aliado aos diferentes métodos, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) tem-se mostrado como uma ferramenta tecnológica capaz de obter de maneira mais rápida e eficaz resultados qualitativos na modelagem das informações Hidrológicas.

Dentre as mais antigas menções de trabalhos, encontram-se várias referências, dentre elas Gumbel que desenvolveu a aplicação de métodos probabilísticos na determinação do período de recorrência de enchente a partir dos registros de vazões máximas locais.

Sendo assim, o presente trabalho se justifica por buscar maior compreensão a respeito de métodos estatísticos e determinísticos de estimativas de vazões e da utilização de SIGs na obtenção de parâmetros necessários para estimativas de vazões.

### 3.3.6 Método de Gumbel

A distribuição de Gumbel é uma das ferramentas mais utilizadas nos dias de hoje, no que diz respeito à extrapolação de series histórica de valores extremos para se determinar vazões máximas de projeto. (WATANABE, 2013)

De acordo com as equações 01 e 02, já explicita a variável reduzida de Gumbel, obtém-se:

$$Y_t = -\ln[-\ln\left(T - \frac{1}{T}\right)] \quad (\text{Equação 01})$$

Onde:

$Y_t$  – variável reduzida Gumbel;

$T$  – período de retorno;

$$Y_t = \frac{X_t - X' + 0,45 * S}{0,7797 * S} \quad (\text{Equação 02})$$

Onde:

$X_t$  – vazão  $T$  para um determinado período de retorno;

$X'$  – média da mostra;

$S$ - desvio padrão da mostra.

### 3.3.7 Determinações da velocidade

Segundo Tucci (1997), em canais artificiais, recomenda-se limitar a velocidade mínima entre 0,50 m/s e 0,90 m/s, como forma de prevenir a disposição de siltes e materiais mais finos. Alguns autores sugerem que uma velocidade mínima da ordem de 0,75 m/s é suficiente para impedir o crescimento da vegetação no interior e junta dos condutos.

Tomaz (2011) afirma que a velocidade mínima geralmente está entre 0,60 m/s a 0,90 m/s. Velocidades acima de 12 m/s em canais de concreto foram aceitas em canais que possuem baixa concentração de sedimentos.

Evangelista (2011) apresenta na tabela 3 os valores máximos e na tabela 4 os valores mínimos recomendáveis da velocidade nos canais, sendo que a segunda tabela considera o fato de que pode haver problemas de sedimentação.

Tabela 3. Valores máximos recomendáveis para velocidade em canais

Material	Velocidade máxima ( m/s )
Terreno Arenoso Comum	0,76
Terreno de Aluvião	0,91
Terreno Argila Compacta	1,14
Cascalho grosso , Pedregulho, Piçarra	1,83
Alvenaria	3,00
Concreto	6,00

Fonte: EVANGELISTA (2011)

Tabela 4. Valores mínimos recomendáveis para velocidade em canais

<i>Material</i>	<i>Velocidades (m/s)</i>
Água com suspensão fina	0,3 m/s
Água com areia fina	0,45 m/s
Água de esgoto	0,60 m/s
Água pluvial	0,75 m/s

Fonte: EVANGELISTA (2011)

### 3.4 Análise hidráulica

#### 3.4.1 Dimensionamento de conduto livre

Segundo Botelho (2011) quando a água escoar em um conduto com pressão atmosférica na borda superior do líquido temos o chamado escoamento em canal, também chamado escoamento livre.

Os condutos são livres quando a parte superior do líquido está sujeita à pressão atmosférica, ou, pelo menos, um ponto da superfície líquida. O movimento não depende da pressão interna, mas da inclinação do fundo do canal e da superfície do líquido.

A fórmula mais conhecida para dimensionamento de condutos livres usada no Brasil e nos Estados Unidos e demais países de língua inglesa, é a fórmula experimental do Engenheiro irlandês R. Manning elaborada em 1981. O motivo é a facilidade de estimar a rugosidade de Manning para cada caso. (TOMAZ, 2011)

De acordo com Manning cada material possui um coeficiente de rugosidade conforme tabela 5:



Tabela 5. Coeficiente de Manning

Natureza das Paredes	Condições			
	Muito Boas	Boas	Regulares	Más
Tubos de ferro fundido sem revestimento.	0,0120	0,0130	0,0140	0,0150
Idem, com revestimento de alcatrão.	0,0110	0,0120	0,0130	---
Tubos de ferro galvanizado.	0,0130	0,0140	0,0150	0,0170
Tubos de bronze ou de vidro.	0,0090	0,0100	0,0110	0,0130
Condutos de barro vitrificado, de esgotos.	0,0110	0,0130	0,0150	0,0170
Condutos de barro, de drenagem.	0,0110	0,0120	0,0140	0,0170
Alvenaria de tijolos com argamassa de cimento				
condutos de esgoto, de tijolos.	0,0120	0,0130	0,0150	0,0170
Superfícies de cimentado alisado.	0,0100	0,0110	0,0120	0,0130
Superfícies de argamassa de cimento.	0,0110	0,0120	0,0130	0,0150
Tubos de concreto.	0,0120	0,0130	0,0150	0,0160
Condutos e aduelas de madeira.	0,0100	0,0110	0,0120	0,0130
Calhas de prancha de madeira aplainada.	0,0100	0,0120	0,0130	0,0140
idem, não aplainada.	0,0110	0,0130	0,0140	0,0150
idem, com pranchões.	0,0120	0,0150	0,0160	---
Canais com revestimento de concreto.	0,0120	0,0140	0,0160	0,0180
Alvenaria de pedra argamassada.	0,0170	0,0200	0,0250	0,0300
Alvenaria de pedra seca.	0,0250	0,0330	0,0330	0,0350
Alvenaria de pedra aparelhada.	0,0130	0,0140	0,0150	0,0170
Calhas metálicas lisas (semicirculares).	0,0110	0,0120	0,0130	0,0150
idem, corrugadas.	0,0230	0,0250	0,0280	0,0300
Canais de terra, retílicos e uniformes.	0,0170	0,0200	0,0230	0,0250
Canais abertos em rocha, lisos e uniformes.	0,0250	0,0300	0,0330	0,0350
Canais abertos em rocha, irregulares, ou de paredes de pedra irregulares e mal-arrumadas.	0,0350	0,0400	0,0450	---
Canais dragados.	0,0250	0,0280	0,0300	0,0330
Canais curvilíneos e lamosos.	0,0230	0,0250	0,0280	0,0300
Canais com leito pedregoso e vegetação nos taludes.	0,0250	0,0300	0,0350	0,0400
Canais com fundo de terra e taludes empedrados.	0,0280	0,0300	0,0330	0,0350
<b>ARROIOS E RIOS</b>				
1. Limpos, retílicos e uniformes.	0,0250	0,0280	0,0300	0,0330
2. Como em 1., porém com vegetação e pedras.	0,0300	0,0330	0,0350	0,0400
3. Com meandros, bancos e poços poucos profundos, limpos	0,0350	0,0400	0,0450	0,0500
4. Como em 3., águas baixas, declividade fraca.	0,0400	0,0450	0,0500	0,0550
5. Como em 3., com vegetação e pedras.	0,0330	0,0350	0,0400	0,0450
6. Como em 4., com pedras.	0,0450	0,0500	0,0550	0,0600
7. Com margens espraiadas, pouca vegetação.	0,0500	0,0600	0,0700	0,0800
8. Com margens espraiadas, muita vegetação.	0,0750	0,1000	0,1250	0,1500

Fonte: PORTO (1999)

A expressão é dada pela equação 03:

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{2/3} \times S^{0,5} \quad (\text{Equação 03})$$

Onde:

V - Velocidade média (m/s)

R - Raio hidráulico (m)

A - Área molhada (m<sup>2</sup>)

P - Perímetro molhado (m)

n - Coeficiente de rugosidade de Manning

S - Declividade (m/m)

$$Q = A \times V \quad (\text{Equação 04})$$

Onde:

Q - Vazão de pico em m<sup>3</sup>/s

A - Área molhada (m<sup>2</sup>)

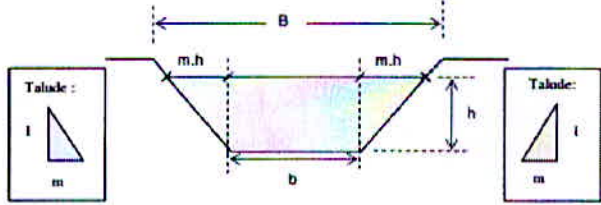
V - Velocidade média (m<sup>3</sup>/s)

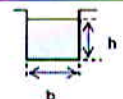
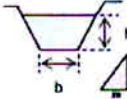
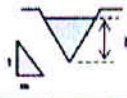
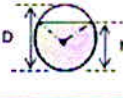

Para a determinação do raio hidráulico é necessário à relação entre área molhada e perímetro molhado, dado pela equação 05:

$$R = \frac{A}{P} \quad (\text{Equação 05})$$

O raio hidráulico, área molhada e perímetro molhado são calculados de acordo com a geometria dos canais conforme tabela 6:

Tabela 6. Geometria dos canais abertos



Forma da seção	Área (A) (m <sup>2</sup> )	Perímetro molhado (P) (m)	Raio hidráulico (R) (m)	Largura do Topo (B) (m)
	$b \cdot h$	$b + 2 \cdot h$	$\left(\frac{A}{P}\right) = \frac{b \cdot h}{b + 2 \cdot h}$	$b$
	$(b + m \cdot h) \cdot h$	$b + 2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$b + 2 \cdot m \cdot h$
	$m \cdot h^2$	$2 \cdot h \cdot \sqrt{1 + m^2}$	$\frac{A}{P}$	$2 \cdot m \cdot h$
	$\frac{1}{8} (\theta - \text{sen } \theta) D^2$ $\theta = \text{RAD}$	$\frac{\theta \cdot D}{2}$	$\frac{1}{4} \left(1 - \frac{\text{sen } \theta}{\theta}\right) D$	$\left(\text{sen } \frac{\theta}{2}\right) D$
	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4} = \frac{h}{2}$	$D = 2 \cdot h$

Obs.:  $\theta = 2 \cdot \arccos\left(1 - \frac{2 \cdot h}{D}\right)$ , onde  $\theta$  deve ser calculado em radianos.

Fonte: PEREIRA (2013)

Ainda segundo Tomaz (2011) a vazão é determinada pela equação 06 da continuidade conforme segue:

$$Q = A \times V \quad (\text{Equação 06})$$

Onde:

Q - Vazão de pico em m<sup>3</sup>/s

A - Área molhada (m<sup>2</sup>)

V - Velocidade média (m<sup>3</sup>/s)

### 3.5 Inundações urbanas

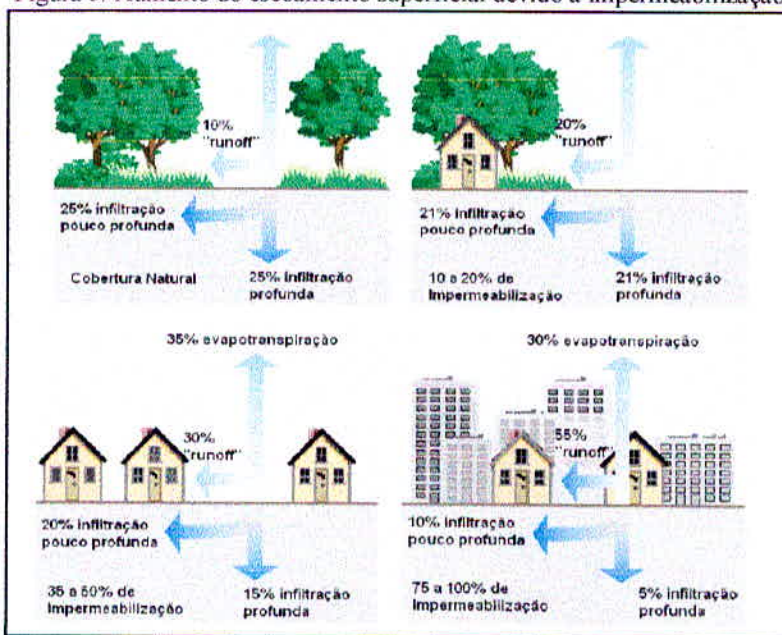
As inundações urbanas são eventos tão antigos quanto às cidades ou aglomerações urbanas. Este episódio pode ocorrer devido ao comportamento natural dos rios, quando o excesso do volume da chuva que não consegue ser drenado ocupa a várzea e inunda, de acordo com a topografia, as áreas próximas aos rios, ou pode ocorrer pelo efeito da alteração produzida pelo homem na urbanização devido à impermeabilização das superfícies e canalização dos rios. (TUCCI, 1997)

O crescimento desordenado da população urbana no Brasil, têm se tornado um dos grandes problemas, principalmente no que se trata de concentração urbana que se estima hoje ser na ordem de 80% da população nacional. Tal concentração é dada de forma acelerada e pouco planejada, provocando uma série de alterações ambientais. Como exemplo temos a falta de planejamento, visto o aumento do número de pontos de inundações, a desconfiguração dos corpos de água receptores do esgoto sanitário e pluvial, a deficiência de acompanhamento dos canais de curso d'água (como os ribeirões), a carência de exames técnicos da qualidade da água e etc. (TUCCI, 1997)

Segundo Tucci (2000), à medida que a cidade se urbaniza, ocorre o aumento das vazões máximas (em até sete vezes) devido à impermeabilização e canalização conforme esquematizado na figura 5:



Figura 5. Aumento do escoamento superficial devido à impermeabilização



Fonte: FISRWG, 1998

Pela visão de Pompêo (2000) as enchentes são fenômenos naturais os quais sempre ocorreram na natureza, provocados por chuvas de elevada magnitude. Já em áreas urbanas, as enchentes normalmente acontecem, por consequência de precipitações intensas com altos períodos de retorno ou em virtude de mudanças no ciclo hidrológico, nas zonas a montante das áreas urbanas, que causa transbordamento de cursos d'água, ou ainda, devido à urbanização.

Estas inundações em áreas urbanas representam um grave problema para as cidades brasileiras, uma vez que atingem áreas densamente ocupadas ocasionando prejuízos consideráveis e irreparáveis para a população. Um conjunto de fatores pode ser relacionado quanto à ocorrência das inundações. Certamente, um dos mais preocupantes é a falta de planejamento para ocupação de bacias hidrográficas, resultando a ocupação de áreas consideradas de risco de inundação. A população de maior poder aquisitivo tende a habitar os locais seguros ao contrário da população carente que ocupa as áreas de alto índice de inundação, provocando problemas sociais que se repetem por ocasião de cada cheia na região. (TUCCI, 1997)

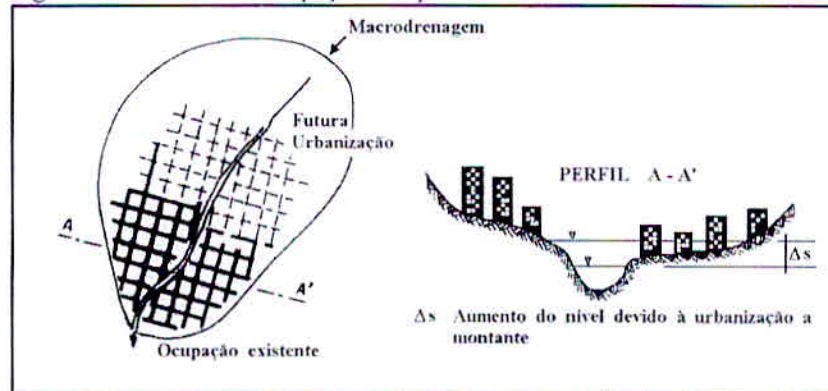
No processo de desenvolvimento urbano, a ampliação dos sedimentos produzidos pela bacia hidrográfica é expressiva, devido às construções em geral, limpeza de terrenos para loteamentos, construção de ruas, avenidas e rodovias, entre outros. A produção de sedimentos tem consequências ambientais importantes para as áreas urbanas, como o assoreamento da drenagem, com redução da capacidade de escoamento de condutos, rios e lagos urbano. Como

consequência, produzem-se vegetações dentro dos canais, reduzindo sua capacidade para escoamento das enchentes. (TUCCI, 2007)

O problema das inundações urbanas é complexo uma vez que envolve ações multidisciplinares e abrangentes sobre a bacia hidrográfica como um sistema integrado e dinâmico. Ações isoladas podem apenas transferir de local as inundações. Para a mitigação de inundações em bacias urbanizadas, diversas alternativas estruturais associadas a ações não estruturais podem ser aplicadas, desde a realocação humana até o próprio convívio com o problema. (TUCCI, 1993)

Ainda para Tucci (2007) em grandes bacias, existe o efeito da combinação da drenagem dos vários canais de macrodrenagem, que são influenciados pela distribuição temporal e espacial das precipitações máximas. A urbanização tende a ocorrer no sentido de jusante para montante conforme esquema da figura 6 que indica a tendência de ocupação e impacto, na macrodrenagem urbana, devido às características de relevo. Quando um loteamento é projetado, os municípios estabelecem apenas que o projeto de esgotos pluviais seja competente no sentido de drenar a água. Com a deficiência do poder público em fiscalizar essa urbanização, a ocorrência das enchentes aumenta, com perdas sociais e econômicas.

Figura 6. Tendência da ocupação e impacto



Fonte: Tucci 2007

Segundo Barbosa (2013) ações públicas, em muitas cidades brasileiras, estão indevidamente voltadas para medidas estruturais com visão pontual. A canalização tem sido uma medida utilizada extensamente para transferir o problema de um ponto a outro na bacia, sem que sejam avaliados os efeitos para jusante ou os reais benefícios das obras. Esse processo é prejudicial aos interesses públicos e representa um prejuízo extremamente alto para toda a sociedade ao longo do tempo.



De acordo com Tucci (2007) a tendência de controle das cheias urbanas é realizada, na maioria das vezes, através da canalização daqueles trechos considerados críticos. Essa solução segue a visão particular de um trecho da bacia, sem considerar o restante da mesma ou dentro de diferentes horizontes de ocupação urbana. A canalização dos pontos críticos acaba apenas transferindo a inundação de um lugar para outro na bacia.

Segundo Tucci (2007) a solução deve ser definida para cada caso em função das características do rio, do melhoramento da redução das enchentes e dos aspectos sociais de seu impacto. De qualquer forma, o processo de controle inicia pela regulamentação do uso do solo urbano através de um plano diretor que contemple as enchentes.

### 3.5.1 Principais fatores de inundações urbanas

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. (TUCCI, 2007)

De acordo com Barros (2005) existem alguns principais fatores responsáveis pelas inundações nas cidades. Vale ressaltar que esta relação é extensa e engloba problemas encontrados em áreas urbanas de todos os tipos e regiões.

Fatores de produção de inundações urbanas:

- Falta de investimento para controlar as cheias urbanas, tanto no planejamento, quanto na execução e manutenção de obras civis;
- Falta de conscientização da população para o problema da drenagem, uma vez que a sociedade pode colaborar de diversas formas, por exemplo, no controle dos resíduos sólidos lançados em diversas regiões das cidades;
- O aumento gradativo do volume de escoamento superficial para o mesmo índice de precipitações, tornando o sistema de drenagem obsoleto e incapaz de escoar as chuvas para as quais ele foi projetado. Esse aumento do escoamento superficial decorre do processo de urbanização, feito sem planejamento da ocupação do solo, aumentando assim o índice de impermeabilização do solo da bacia;

- O crescimento do volume de sedimentos afluentes aos canais drenadores, decorrente da ocupação irregular do solo, feito sem controle da erosão, que causa o assoreamento dos leitos dos canais e conseqüentemente diminui a capacidade de transporte de água pelo sistema de drenagem;
- A falta de legislação própria para tratar de problemas de drenagem;
- Quando há existência de legislação, a falta de controle e fiscalização em relação a ocupações e obras irregulares;
- Problemas com obras mal executadas, galerias obstruídas, pontes com posicionamento inadequado em relação á seção do rio;
- Inexistência de norma técnica para projetos de drenagem urbana numa mesma bacia hidrográfica. É comum a existência de projetos tecnicamente incompatíveis numa mesma bacia, decorrentes do emprego de metodologias e critérios diversos;

Barros (2005) após ter citado alguns fatores responsáveis pela produção de inundações urbanas conclui que os sistemas de drenagem urbana devem passar por uma renovação, ampliação e manutenção ao longo de sua vida útil. Vale ressaltar que a constante mudança de ocupação do solo e a impermeabilização modificam drasticamente as vazões no tempo, de uma maneira que em pouco tempo, as obras de drenagem podem se tornar antiquados.

Portanto existem sistemas de drenagem que em poucos anos deixam de dar vazão às cheias, se tornando completamente ineficazes, muito antes do tempo que foi previsto. Sendo assim pode-se dizer que a principal causa disso é a ocupação desordenada da bacia e sua impermeabilização crescente.



### 3.6 Medidas de controle de inundações

#### 3.6.1 Medidas estruturais

Segundo Canholi (2005), medidas estruturais, são as quais englobam as obras de engenharia, que estão divididas como medidas intensivas e extensivas. Sendo assim, dizem respeito às obras que podem ser implantadas visando à correção ou prevenção dos problemas decorrentes de enchentes.

As medidas intensivas, em função de sua finalidade, apresentam quatro tipos: aceleração de escoamento (canalização e obras correlatas); de retardamento do fluxo (reservatórios; bacias de detenção/retenção; e realizar restauração das calhas naturais); de desvio do escoamento (túneis de derivação e canais de desvio); e as que englobem a incorporação de ações individuais visando tornar as edificações à prova de enchentes.

Já, as medidas extensivas estão relacionadas aos pequenos armazenamentos espalhados pela bacia, à recomposição da cobertura vegetal e ao controle da erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem (CANHOLI, 2005).

De acordo com Barros (2005) as medidas estruturais são relacionadas a obras hidráulicas necessárias para proporcionar a boa drenagem do escoamento superficial, são projetadas para o controle de enchentes. Variam através das características do problema a ser solucionado, como por exemplo, a área a ser drenado, o índice de permeabilidade do solo e o tipo de ocupação, as características hidráulicas, físicas e hidrológicas da bacia, entre outros

#### 3.6.2 Medidas não estruturais

As ações não estruturais podem ser eficientes a custos mais reduzidos e com horizontes mais longos de eficiência. (CANHOLI, 1995)

Medidas não estruturais são aquelas em que se procura reduzir os danos ou consequências das inundações, não por intervenções constituídas por obras, mas fundamentalmente pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo, a implementação de sistemas de alerta, a conscientização da população quanto à manutenção dos diversos componentes do sistema de drenagem e outros. (TUCCI, 1993)

Para que haja eficácia da implantação das medidas não estruturais, deve haver controle e fiscalização na implantação das obras, através da aprovação de projetos de loteamentos, obras públicas e de drenagem, onde também devem ser verificados aspectos ambientais.

As medidas não estruturais não são concebidas para dar proteção completa. A combinação dessas medidas com as medidas estruturais pode minimizar significativamente os prejuízos com um custo menor.

Ainda segundo Balabram(2004) as medidas não estruturais representam propostas relacionadas à minimização dos efeitos das chuvas constantes e intensas nas áreas urbanas, essas medidas visam melhorar a convivência da população com as enchentes, incluindo a prevenção e previsão da mesma. Pode-se citar como exemplo de medidas não estruturais: planejamento do uso do solo, sistemas de previsão e alerta, zoneamento de áreas de risco, seguro contra enchentes.

Porém no Brasil, infelizmente as leis de ocupação e uso do solo, ficam restritas a suas criações, e em função da falta de fiscalização essas medidas não são efetivamente implantadas.



## 4 MATERIAL E MÉTODO

O ponto de alagamento estudado vem sendo observado há anos e por interesse em analisar a causa de tal problema, suas características foram avaliadas através de visitas ao local, documentação por meio de fotos e pesquisas em jornais locais, relatos de moradores próximo descrevendo os principais episódios de cheias, sites, pesquisas bibliográficas e análise de dados.

As pesquisas bibliográficas foram fundamentadas em livros, artigos específicos, monografias e informações técnicas com o intuito de estudar o sistema de drenagem existente no local estudado com as diretrizes sugeridas pelas bibliografias.

Os dados disponibilizados no presente trabalho foram coletados por meio de visitas e medições no local, mapas, softwares como AutoCAD para as partes de representações gráficas da seção de estudo, Google Earth Pró e Global Mapper 16 como ferramentas de localização via satélite e demarcações de curvas de nível e os aplicativos disponibilizados na internet Atlas das Águas ([www.hidrotec.ufv.br](http://www.hidrotec.ufv.br)) para a coleta de dados específicos e cálculo da vazão máxima da bacia estudada. Para a determinação das vazões por séries históricas, dados do HidroWeb foram utilizados, este que se trata de uma página na internet responsável por um sistema computacional para regionalização de vazões.

O modelo computacional para a regionalização de vazões mínimas, máximas e médias e das curvas de regularizações e de permanência foi desenvolvido buscando a sua integração à base hidrográfica da ANA (Agência Nacional de Águas).

### 4.1 Caracterização da Bacia Estudada

Juntamente com a globalização tem-se o aumento demográfico. Muitas cidades vêm passando por um crescimento do perímetro urbano, o que não é diferente na cidade de Varginha cuja população sofre com a força das águas que cortam a cidade, principalmente o ribeirão Santana que se estende desde sua nascente situada no Bairro Cidade Nova até a foz no Rio Verde situada no bairro Resende, causando pontos de alagamento principalmente na Avenida Zoroastro Franco de Carvalho no bairro Santa Maria.

Localizada no sul do estado de Minas Gerais, com latitude 21° 33' 05" S e longitude 45° 25' 49" W e altitude 916 m a cidade conta, de acordo com dados do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), com uma população estimada de 131.269 habitantes, uma área territorial de 395,396 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 311,29 hab./km<sup>2</sup>. Possui o



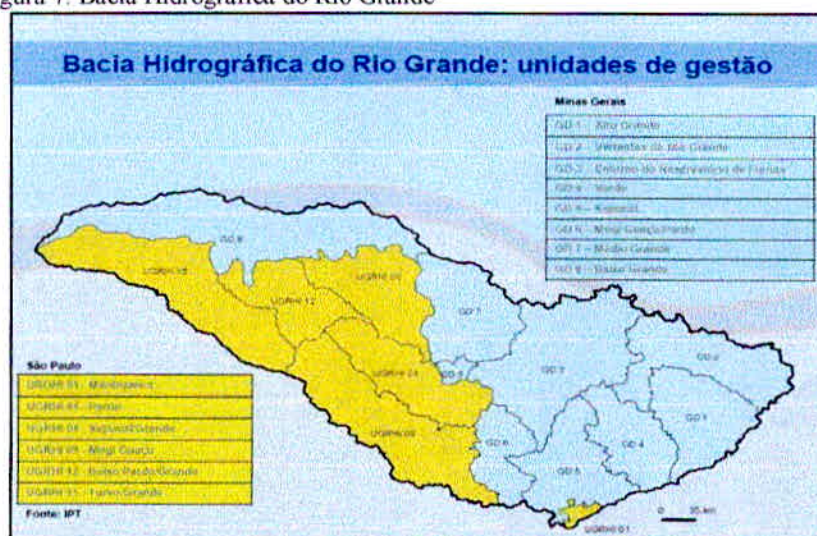
bioma caracterizado como Mata Atlântica, sua temperatura média anual é de 23,1C° e o índice pluviométrico anual é de 1.350 mm. (IBGE,2015)

É reconhecida como uma das três maiores cidades da região e sendo assim, também sofre com as consequências do desenvolvimento. Um dos efeitos dessa ampliação são problemas relacionados à drenagem urbana e consequentemente inundações.

Varginha encontra-se inserida na bacia hidrográfica do Rio Grande conforme figura 7, onde deságua o Rio Verde este por sua vez e responsável pelo abastecimento e saneamento de toda a população do município.

No Rio Grande se encontra a sub-bacia do Rio Verde, situa-se na mesorregião Sul-sudoeste e abrange um total de 23 sedes municipais com uma população total estimada de 423.449 habitantes e uma área de drenagem de 6.924 km<sup>2</sup>, a bacia possui clima úmido, apresentando de um a dois meses secos por ano e disponibilidade hídrica entre 10 e 20 l/s/Km<sup>2</sup>. IGAM (sem data).

Figura 7. Bacia Hidrográfica do Rio Grande



Fonte: IGAM (SEM DATA)

## 4.2 Análise do caso

Para a determinação das vazões e séries históricas da bacia principal, utilizou-se das ferramentas do HidroWeb que gera um arquivo de acordo com as informações disponíveis mediante a seleção da bacia.

O portal HidroWeb oferece um banco de dados com todas as informações coletadas pela rede hidrometeorológica e reúne dados sobre cotas, vazões, chuvas, evaporação, perfil do rio, qualidade da água e sedimentos. Trata-se de uma importante ferramenta para a sociedade,

pois os dados coletados pelas estações de monitoramento são utilizados para produzir estudos, definir políticas públicas e avaliar a disponibilidade hídrica. Por meio dessas informações, a ANA (Agência Nacional de Águas) monitora eventos considerados críticos, como cheias e estiagens, disponibiliza informações para a execução de projetos, identifica o potencial energético, de navegação ou de lazer em um determinado ponto ou ao longo da calha do manancial, levanta as condições dos corpos d'água para atender a projetos de irrigação ou de abastecimento público, entre outros. (ANA, 2015)

Usou-se como parâmetro a série histórica de duas bacias pertencentes ao estado de Minas Gerais e que apresentam áreas relativamente médias e características semelhantes.

A primeira é a bacia de nome Guaxupé, que possui o código 61815000 com referência no HidroWeb, pertencente a bacia do Rio Paraná e sub-bacia do Rio Grande, localiza-se em Minas Gerais no município de Guaxupé, pertencente ao Rio Guaxupé e tem como responsável de coleta de dados a ANA (Agência Nacional de Águas), situada a uma latitude  $-21^{\circ}17'39''$  e longitude de  $-46^{\circ}42'15''$  com altitude de 828 m e conta com uma área de drenagem de aproximadamente 76 km<sup>2</sup>. Seu bioma é caracterizado como Mata Atlântica, sendo o índice pluviométrico anual de 1.200 mm e possui temperatura média anual de 21,6 C°, o relevo se classifica em 65% ondulado, 25% montanhoso e 10% plano. (IBGE, 2015)

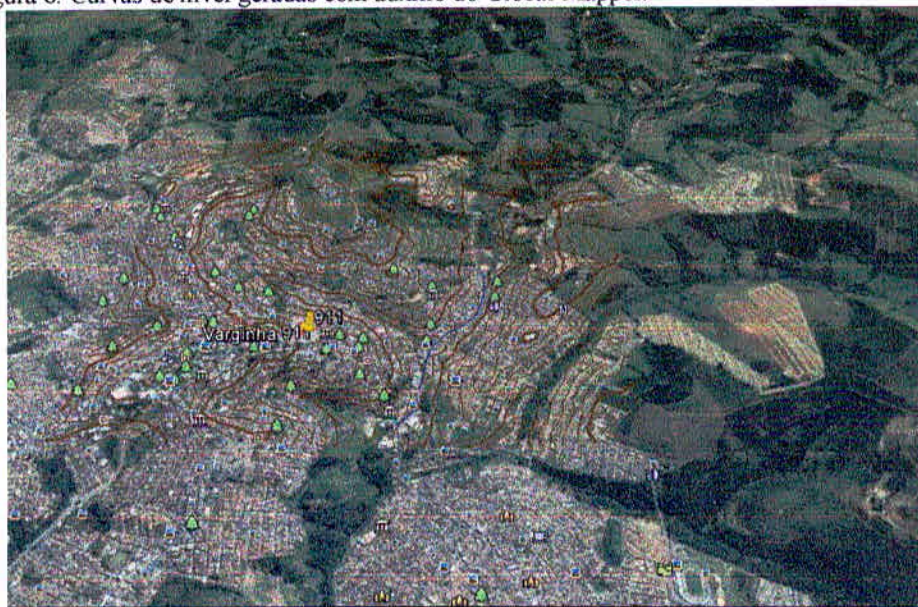
A segunda é a bacia usada como parâmetro é a de nome Usina Bocaina, que possui o código 61505000 com referência no HidroWeb, pertencente a bacia do Rio Paraná e sub-bacia do Rio Grande, localiza-se em Minas Gerais no município de Cristina, pertencente ao Rio Lambarizinho e tem como responsável de coleta de dados a ANA (Agência Nacional de Águas), situada a uma latitude  $-21^{\circ}53'00''$  e longitude de  $-45^{\circ}11'00''$  com altitude não disponibilizada e conta com uma área de drenagem de aproximadamente 74 km<sup>2</sup>. Seu bioma é caracterizado como Mata Atlântica. (IBGE, 2015)

### **4.3 Determinação da área de contribuição em estudo**

A determinação da área de contribuição da bacia foi delimitada com o auxílio de softwares como o Google Earth Pró, Global Mapper, sendo que o segundo utiliza como dados o SIG (Sistema de Informações Geográficas) assim, com as curvas de nível geradas pelo Global Mapper conforme indicado na figura 8 foram identificadas as cotas mais altas dos bairros situados em volta do ribeirão que contribuem com o lançamento de suas águas de acordo com os sistemas de microdrenagem, então foi exportado para o AutoCAD, onde as escalas foram consideradas e o traçado da bacia feito.



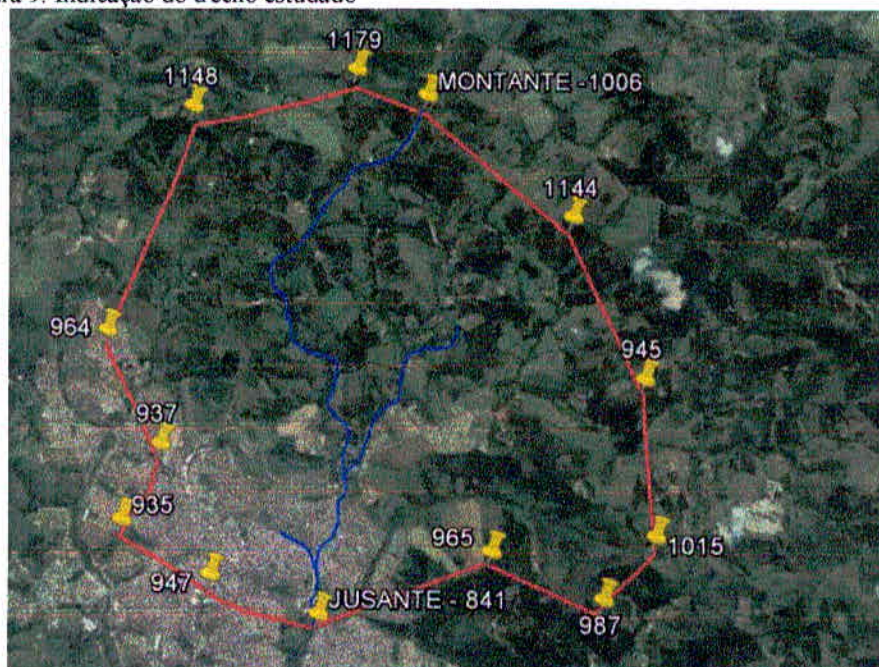
Figura 8. Curvas de nível geradas com auxílio do Global Mapper.



Fonte: Global Mapper adaptado pelo autor

A bacia apresenta aproximadamente 38 km<sup>2</sup> (38.000.000 m<sup>2</sup>), possuindo perímetro de 24 km (24.000.000 m), a extensão total do talvegue é de aproximadamente 5.250 m com inclinação 3,14% sua jusante apresenta-se na cota de 841 m e a montante a 1006 m conforme representação da figura 09.

Figura 9. Indicação do trecho estudado



Fonte: Google Earth Pró adaptado pelo autor



A área em estudo conta com extensa área vegetal por estar localizada próxima à zona rural, contribuindo para a permeabilidade, sendo assim a área verde que corresponde a 27,74 km<sup>2</sup>, (73% da área total) as áreas impermeabilizadas correspondem a 9,5 km<sup>2</sup>, (25% a total) e está dividida em área de lotes, áreas institucionais e áreas de ruas asfaltadas e calçadas. As áreas institucionais representam 0,76 km<sup>2</sup> (2%) da área total.

Com a equação de Manning será obtida a vazão do canal.

#### **4.4 Características do trecho estudado**

O trecho estudado do ribeirão Santana está localizado na Rua Zoroastro Franco de Carvalho, no bairro Santa Maria em Varginha, Minas Gerais.

De acordo com as coordenadas localiza-se à de latitude 21°33'11"S e longitude 45°22'26" O, isto para o ponto estudado que é uma ponte de travessia de veículos.

Alguns fatores como a presença de vegetações, lixos e entulhos dentro do canal do ribeirão podem contribuir para dificuldade de curso da vazão das chuvas, além do acúmulo de terra que se forma naturalmente, que colabora para o aumento do canal e dificulta o escoamento em alguns pontos.

Segundo os órgãos responsáveis pela manutenção, no caso a Prefeitura da cidade alega que a falta de manutenção se dá pela precariedade de funcionários disponíveis para atender o trecho do ribeirão.

Conforme comentado anteriormente, o estudo fez-se para a ponte denominada "ponto estudado" conforme indicado na figura 10, sendo a que está situada entre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e Avenida dos Imigrantes onde se faz curso o ribeirão Santana e onde é registrado o maior número de cheias, provavelmente por se tratar de passagem de veículos, ocasionando a diminuição da seção do ribeirão neste ponto.

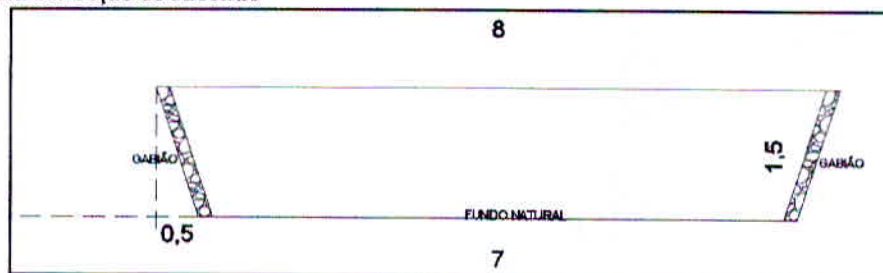
Figura 10. Indicação da ponte estudada no ribeirão Santana ao longo do bairro Santa Maria



Fonte: Google Earth Pró adaptado pelo autor

O canal do ribeirão apresenta aproximadamente 8 m de largura x 1,5 m de profundidade formato trapezoidal apresentando gabiões em suas paredes laterais e fundo natural conforme representação na figura 11, já a seção da ponte referida, apresenta duas células cada uma com aproximadamente 2,6 m de largura por 2,1 de profundidade já descontando sua estrutura, formato retangular, constituinte de concreto conforme representado na figura 12.

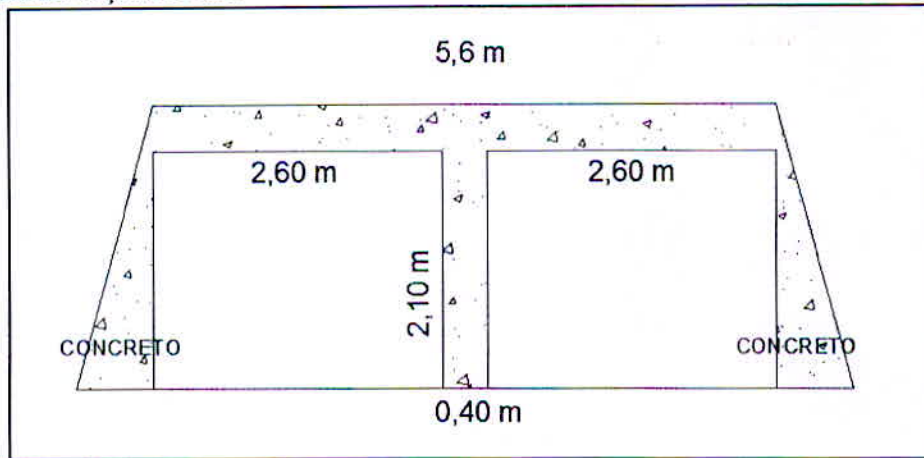
Figura 11. Seção do Ribeirão



Fonte: O Autor



Figura 12. Seção da Ponte



Fonte: O Autor

É importante a verificação da ocupação de áreas (principalmente as planas) e sua situação. Esse estudo visa, assim, analisar a vazão lançada no ribeirão de acordo com um estudo áreas de contribuição e séries históricas, considerando-se os índices de precipitação.

#### 4.4.1 Vazão da bacia

As bacias foram avaliadas de acordo com a maior vazão registrada em cada ano, assim, foi determinada a vazão média de cada bacia, juntamente com o desvio padrão conforme indicados na tabela 7. A série histórica avaliada para Guaxupé foi de 30 anos sendo de Janeiro de 1976 à Dezembro de 2005 e para Usina Bocaina a série também foi de 30 anos sendo de Janeiro de 1962 à Dezembro de 1991 de acordo com planilhas anexas (anexos 1 e 2).

Pelo método probabilístico de proporção das bacias foi calculada uma vazão média por  $\text{km}^2$ .



Tabela 7. Média da vazão máxima anual de três bacias tomadas como referência.

VAZÕES MÁXIMAS ANUAIS						
GUAXUPÉ			USINA BOCAINA			
Número da série	Ano	Vazão máxima	Número da série	Ano	Vazão máxima	
	1	2005	10,76	1	1991	25,60
	2	2004	15,64	2	1990	17,70
	3	2003	37,97	3	1989	6,50
	4	2002	16,40	4	1988	5,44
	5	2001	17,10	5	1987	8,80
	6	2000	10,50	6	1986	7,53
	7	1999	16,26	7	1985	23,30
	8	1998	14,26	8	1984	9,89
	9	1997	10,50	9	1983	29,30
	10	1996	8,40	10	1982	20,80
	11	1995	10,15	11	1981	15,60
	12	1994	7,23	12	1980	13,50
	13	1993	7,11	13	1979	24,10
	14	1992	9,10	14	1978	7,85
	15	1991	14,53	15	1977	22,90
	16	1990	3,78	16	1976	29,40
	17	1989	8,40	17	1975	30,60
	18	1988	6,77	18	1974	33,70
	19	1987	3,87	19	1973	20,80
	20	1986	5,68	20	1972	21,20
	21	1985	4,50	21	1971	14,70
	22	1984	4,34	22	1970	11,50
	23	1983	20,27	23	1969	19,50
	24	1982	20,27	24	1968	7,10
	25	1981	11,90	25	1967	10,20
	26	1980	15,50	26	1966	18,60
	27	1979	8,19	27	1965	14,80
	28	1978	5,98	28	1964	16,60
	29	1977	27,72	29	1963	14,10
	30	1976	12,76	30	1962	12,10
<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>7,46</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>		<b>7,86</b>	
<b>MÉDIA (l/s)</b>		<b>12,19</b>	<b>MÉDIA (l/s)</b>		<b>17,12</b>	
<b>AREA DA BACIA (Km²)</b>		<b>76</b>	<b>AREA DA BACIA (Km²)</b>		<b>74</b>	

Fonte: HidroWeb adaptado pelo autor

Aplicando-se o método de Gumbel, considerando-se um tempo de retorno de 100 anos para a bacia de Guaxupé estudada como parâmetro 1, que possui aproximadamente 76 km<sup>2</sup> tem-se a seguinte situação aplicando-se a equação 01:

$$Y_t = -\ln[-\ln(T - 1/T)] \rightarrow Y_t = -\ln[-\ln(100 - 1/100)] \rightarrow Y_t = 4,6$$

Onde:

$Y_t$  - Variável reduzida Gumbel;

T - Período de retorno;

$$Y_t = \frac{X_t - X' + 0,45 * S}{0,7797 * S} \rightarrow (4,6 = \frac{X_t - 12,19 + 0,45 * 7,46}{0,7797 * 7,46}) \rightarrow X_t = 42,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Onde:

$X_t$  - Vazão T para um determinado período de retorno;

$X'$  - Média da mostra;

S- Desvio padrão da mostra.

A- Área da bacia (km<sup>2</sup>)

É feita a divisão da vazão pela área da bacia, para a obtenção da vazão média por km<sup>2</sup> de acordo com a área da bacia:

$$X_t = \frac{42,31}{76} = 0,557 \text{ m}^3/\text{s}$$

Considerando a vazão calculada para a bacia estudada aplica-se a equação 07:

$$Q_{est} = Q_{par} * A_{est} \quad (\text{Equação 07})$$

Onde:

$Q_{est}$  – Vazão para a área estudada (m<sup>3</sup>/s)

$Q_{par}$  – Vazão da bacia usada como parâmetro (m<sup>3</sup>/s)

$A_{est}$ - Área da bacia estudada (km<sup>2</sup>)

$$Q_{est} = Q_{par} * A_{est} \rightarrow Q_{est} = 0,556 * 38 = Q_{est} = 21,15 \text{ m}^3/\text{s}$$

Aplicando-se o método de Gumbel, considerando-se um tempo de retorno de 100 anos para a bacia de Usina de Bocaina estudada como parâmetro 2, que possui aproximadamente 74 km<sup>2</sup> temos a seguinte situação aplicando-se a equação 01:

$$Y_t = -\ln[-\ln(T - 1/T)] \rightarrow Y_t = -\ln[-\ln(100 - 1/100)] \rightarrow Y_t = 4,6$$

Onde:

$Y_t$  - Variável reduzida Gumbel;

T - Período de retorno;

De acordo com o a vazão dada com a equação de Gumbel conforme segue na equação 02 é feita a divisão da vazão pela área da bacia, para a obtenção da vazão média por km<sup>2</sup>:

$$Y_t = \frac{X_t - X' + 0,45 * S}{0,7797 * S} \rightarrow (4,6 = \frac{X_t - 17,12 + 0,45 * 7,86}{0,7797 * 7,86}) / A \rightarrow X_t = 48,85 m^3/s$$

Onde:

$X_t$  - Vazão T para um determinado período de retorno;

$X'$  - Média da mostra;

S- Desvio padrão da mostra.

A- Área da bacia (km<sup>2</sup>)

É feita a divisão da vazão pela área da bacia, para a obtenção da vazão média por km<sup>2</sup> de acordo com a área da bacia:

$$X_t = \frac{48,85}{74} = 0,660 m^3/s$$

Considerando a vazão calculada para a bacia estudada aplica-se a equação 07:

$$Q_{est} = Q_{par} * A_{est} \quad (\text{Equação 07})$$

Onde:

$Q_{est}$  – Vazão para a área estudada (m<sup>3</sup>/s)

$Q_{par}$  – Vazão da bacia usada como parâmetro (m<sup>3</sup>/s)

$A_{est}$  - Área da bacia estudada (km<sup>2</sup>)

$$Q_{est} = Q_{par} * A_{est} \rightarrow Q_{est} = 0,660 * 38 = Q_{est} = 25,08 m^3/s$$

Para a obtenção da vazão da bacia estudada, com tempo de retorno de 100 anos (recomendado para canais em concreto) optou-se por uma média entre as duas bacias usadas como parâmetros, sendo assim teve-se como resultado para a bacia do ribeirão Santana a vazão de 23,12 m<sup>3</sup>/s.

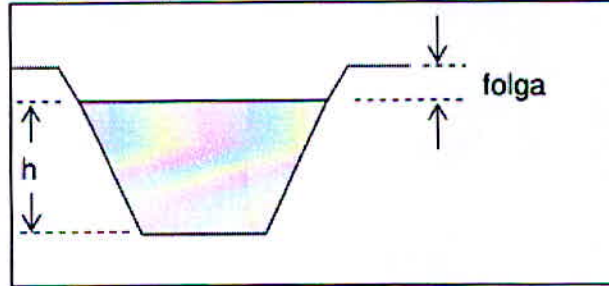
#### 4.4.2 Vazão do canal

Para a determinação da vazão máxima do canal utilizou-se os dados da seção do ribeirão conforme representados na figura 11 anteriormente e do princípio de uma borda livre



de 20% da altura do canal conforme representado na figura 13, sendo assim a “altura molhada” de 1,5 m.

Figura 13. . Representação da folga da borda livre no canal trapezoidal.



Fonte: PEREIRA (2013)

Para o cálculo da área, verificou-se a fórmula na tabela 4 de acordo com a geometria do canal, no caso, trapezoidal, considerou-se a equação 08, conforme indicado:

$$A = (b + m * h) * h \quad (\text{Equação 08})$$

Onde:

A - Área molhada (m<sup>2</sup>)

b= Base (m)

h -Altura molhada (m)

m- Inclinação lateral (m)

Aplicando-se a equação da área temos:

$$A = (b + m * h) * h \rightarrow A = (7 + 0,5 * 1,5) * 1,5 \rightarrow A = 11,58 \text{ m}^2$$

Aplicando-se a equação do raio hidráulico temos:

$$R = \frac{A}{P} \rightarrow R = \frac{11,625}{9,40} \rightarrow R = 1,236 \text{ m}$$

Aplicando-se a equação de Manning, considerando o coeficiente como 0,07 conforme tabela 3, margens com pouca vegetação (regular):

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \times R^{2/3} \times S^{0,5} \rightarrow V = \left(\frac{1}{0,07}\right) \times 1,236^{2/3} \times 0,03^{0,5} \rightarrow V = 2,56 \text{ m/s}$$

Para a determinação da vazão temos a equação 06:

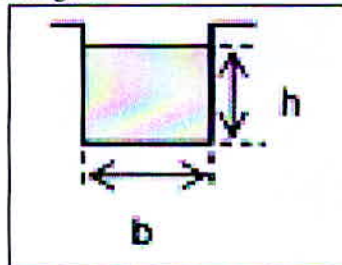
$$Q = V * A \rightarrow Q = 2,56 * 11,58 \rightarrow Q = 29,64 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acordo com os cálculos de vazão do canal obtém-se uma vazão de aproximadamente 29,64 m<sup>3</sup>/s.

#### 4.4.3 Vazão da ponte

Para a determinação da vazão máxima da ponte utilizou-se os dados das seção da ponte conforme representados anteriormente na figura 14. Foi adotada a seção retangular conforme representado na figura 14 e a equação 09 foi aplicada conforme segue:

Figura 14. Representação da seção retangular



Fonte: PEREIRA (2013)

$$A = b * h \quad (\text{Equação 09})$$

Onde:

A - Área molhada (m<sup>2</sup>)

b= Base (m)

h - Altura molhada (m)

Aplicando-se a equação da área para um lado da célula da ponte temos:

$$A = b * h \rightarrow A = (2,60 * 2,10) * 2 \rightarrow = 10,92 \text{ m}^2$$

Obs: multiplicou-se por 2, porque a ponte tem duas células.

Aplicando-se a equação 06, da continuidade considerando que a velocidade que chega na ponte é a mesma do canal temos:

$$Q = V * A \rightarrow Q = 2,73 * 10,92 \rightarrow Q = 29,81 \text{ m}^3/\text{s}$$

De acordo com os cálculos de vazão da ponte obtém-se uma vazão de aproximadamente 29,81 m<sup>3</sup>/s.

Fazendo-se um comparativo entre as vazões encontradas, conclui-se que vazão do canal é 29,64 m<sup>3</sup>/s, a vazão da ponte é de 29,81 m<sup>3</sup>/s, e a vazão da bacia é de 23,12 m<sup>3</sup>/s, sendo assim, o canal e a ponte suportam a vazão da chuva, porém, a vazão da chuva chega quase ao limite da vazão da ponte e que essa proximidade juntamente com outros fatores como o assoreamento, vegetação no canal e lixo é o que pode estar causando as inundações.

Com relação a velocidade em se tratando de um canal que possui gabião, vegetação rasa, terra e concreto, de acordo com a tabela 3 de Evangelista (2011) atende a análise média destes materiais que vai de 0,76 a 6 m/s e a velocidade mínima de 0,75 m/s para águas pluviais.

A questão da análise das velocidades será melhor abordado no Trabalho de conclusão de curso II.

O problema no caso, não é seu dimensionamento, porém, esta folga entre as vazões poderia ser maior, considerando-se os outros fatores citados que podem interferir na sua eficiência.



## 5. RESULTADOS

Observa-se ao longo dos anos, a incidência do problema no trecho do bairro Santa Maria, mais precisamente nos cruzamentos onde há pontes, que visivelmente apresentam a diminuição da seção ao longo do trajeto do ribeirão. Uma destas pontes está situada entre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e Avenida dos Imigrantes conforme mostrado na figura 15, onde se faz curso o ribeirão Santana componente da cidade.

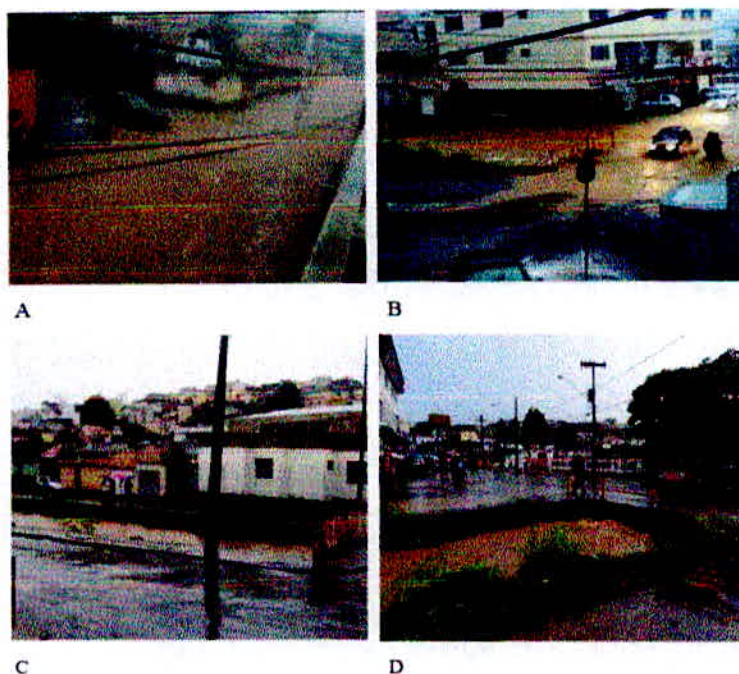
Figura 15. Ponte sob o Ribeirão situada entre a Avenida Zoroastro Franco de Carvalho e a Avenida dos Imigrantes



Fonte: O autor

Nos períodos de chuva intensas e em curto período de tempo, há registros de transbordamentos do canal conforme imagens na figura 16, provocando inundações nas ruas próximas, casas e comércios.

Figura 16. Inundações ocorridas imagens A e B em Janeiro 2007 e imagens C e D em Fevereiro de 2013



Fonte: Site Varginha On Line

Em se tratando do trecho estudado, a área onde se situa o ribeirão é relativamente plana e recebe a água escoada dos demais pontos mais altos ao redor como nos bairros Cidade Nova, São Sebastião, Vila Ipiranga e Santa Maria (parte alta do bairro).

## 6 INDICATIVO DE SOLUÇÕES

Conforme comprovado pelos métodos utilizados neste trabalho, pode-se verificar que o problema no canal não se trata de um erro de dimensionamento do canal, sendo assim, são outras as causas para as inundações ocorridas no ponto estudado.

Todo e quaisquer fatores podem contribuir para os transbordamentos, mesmo que a seção suporte a vazão estimada. Assim sugere-se:

- Desassoreamento (dragagem): serviço de desassoreamento, alargamento, desobstrução, remoção, derrocamento ou escavação de material do fundo de canais;
- Análise da velocidade :recomenda-se um estudo das velocidade para verificar se realmente os materiais constituintes do canal e sua inclinação não interferem na vazão no trecho da ponte;
- Limpeza da vegetação: limpeza das margens do ribeirão onde há concentração de vegetações, principalmente mato conforme mostrado na figura 9 imagem D;
- Limpeza de entulho e lixo no canal: é possível verificar no interior canal lixos domésticos e entulhos de grande porte, assim, sugere-se uma limpeza dentro no canal e nos componentes da microdrenagem ligados ao mesmo como bocas de lobo, galerias, etc.;
- Conscientização da população: em se tratando da questão do lixo, é interessante um trabalho de conscientização, principalmente da população que mora as margens do ribeirão, para que não deposite entulho no mesmo;
- Medidas não estruturais: planejamento do uso do solo, sistemas de previsão e alerta, zoneamento de áreas de risco, seguro contra enchentes.
- Manutenção e fiscalização: para todos os serviços recomendados acima, é importante também a manutenção e fiscalização coordenada pela prefeitura da cidade, mantendo-se e fazendo valer ao bom funcionamento do ribeirão;

Ressalta-se que um estudo mais aprofundado sobre medidas não estruturais e velocidade de escoamento é indicado, bem como entendimento do sistema municipal para a manutenção do mesmo.



## 7 CONCLUSÃO

Conforme apresentado no presente trabalho, a importância de uma rede de drenagem eficiente é essencial para o desempenho dos canais, que tem como finalidade transportar de forma adequada às águas oriundas da microdrenagem, para que isso aconteça o sistema de macrodrenagem deve ser equivalente a esse fluxo, principalmente quando este se localiza dentro de áreas urbanizadas e que sua ineficiência pode causar riscos à população que reside por perto.

Essa pesquisa abordou o problema de cheias oriundas de enchentes na ponte do bairro Santa Maria, proveniente de alguns episódios de precipitações intensas. Dentro desta questão foram coletados dados e o estudo foi elaborado com base na vazão da bacia e a vazão que o trecho estudado suportaria no caso a ponte que cruza as avenidas Zoroastro Franco de Carvalho e Imigrantes, considerando-se um tempo de retorno de 100 anos como recomendado pra obras de pontes em concreto.

Pode-se concluir com o desenvolvimento deste estudo que o problema não está no dimensionamento do trecho da ponte e sim provavelmente algum fato relacionado a obstrução do canal de passagem que será melhor abordado e avaliado no Trabalho de Conclusão de Curso II.

## 8 REFERÊNCIAS

ANA, Agência Nacional de Águas, **HidroWeb – Séries Históricas**, disponível [www.hidroweb.ana.gov.br](http://www.hidroweb.ana.gov.br) – acessado em 10-05-2015 às 22:40.

ATLAS DAS ÁGUAS DE MINAS, Universidade Federal de Viçosa, **Agência Nacional de Águas e Instituto Mineiro de Gestão de Águas**, disponível em [www.atlasdasaguas.ufv.br](http://www.atlasdasaguas.ufv.br) – acessado em 16-05-2015 às 14:15.

BALABRAM, Paula Regina. **Utilização de indicador geomorfológico para fixação de medidas de controle de cheias em áreas urbanas estudo de caso: Brasília – DF**. Monografia do curso de graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Universidade Federal de Minas Gerais; Belo Horizonte- MG, 2004.

BARBOSA, Francisco de Assis dos Reis Barbosa. **Medidas de proteção e controle de inundações urbanas na bacia do rio Mamanguape/PB** Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal da Paraíba para obtenção do grau de Mestre/ Março 2013

BARROS, M. T. L. de. **Drenagem urbana: bases conceituais e planejamento**. In: PHILIPPI JR, A. Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Barueri: Manole, 2005.

BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades**. 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2011

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

CBH, Comitê das Bacias Hidrográficas, - **Mapas**, disponível em [www.cbh.gov.br](http://www.cbh.gov.br)-acessado em 29-05-2015 às 15:40.

CETESB, **Drenagem Urbana: Manual de Projeto**, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, 1980

DAEE, **Manual de Cálculo de Vazões Máximas, Médias e Mínimas para as Bacias Hidrográficas do Estado de São Paulo**. São Paulo, Departamento de Águas e Energia Elétrica - DAEE, 2005.

EVANGELISTA, Adão W. P. **Condução de água**. Conduitos livres ou canais. Universidade Federal de Goiás 2011.

GARCEZ, L. N.; ALVAREZ, G. A. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo-SP: Editora Edgard Blücher, 1988.

GOLDER/FAHMA, **Consórcio, Plano de gerenciamento integrado de recursos hídricos do Distrito Federal (PGIRH –DF)**, Belo Horizonte, 2005.

GRIBBIN, JOHN. B. **Introdução a Hidráulica, Hidrologia e Gestão de Águas Pluviais** 3ª edição. Editora: Cengage Learning 2014.

HANSMANN, Henrique Zanotta. **Descrição e Caracterização das Principais Enchentes e Alagamentos de Pelotas**. RS- Universidade Federal de Pelotas.2013

IBGE, **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, disponível no [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) – acessado em 05-05-2015 às 11:30.

IGAM, **Instituto Mineiro de Gestão das Águas**, disponível em [www.igam.mg.gov.br](http://www.igam.mg.gov.br) – acessado em 05-05-2015 às 18:45.

JUSTINO, E. A. **Estudo do controle do escoamento superficial com o uso de reservatório de retenção na bacia do Córrego Lagoinha**, município de Uberlândia-MG, 2004. Tese (Mestrado programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia-MG, Uberlândia.

LIMA, M. C. **Degradação físico-química e mineralógica de maciços junto à voçorocas** – Brasília. UnB (Tese de Doutorado) Distrito Federal, 2008.

MARTINS, J.A. **Hidrologia Básica**. Volume 1- 1995.



- MOTA, S. **Planejamento urbano e preservação ambiental**. Edições UFC. Fortaleza. 1981.
- NETO, Antônio Cardoso. **Sistemas Urbanos de Drenagem**, Apostila de Drenagem Urbana, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2014.
- NETTO, José Martiniano Azevedo, **Manual de Hidráulica**, São Paulo, SP, Editora Bluncher, 2001.
- ONU, **Organização das nações unidas**, disponível em [www.onu.org.br](http://www.onu.org.br) - acessado em 12-05-2015 às 19:30.
- PINTO, N.L.S. **Hidrologia Básica**, Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1976.
- PHILLIP JR, A. **Saneamento, Saúde e Ambiente**. Editora: Manole- 2004
- POMPÊO, A.C. **Drenagem urbana sustentável**. In: Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH) – Volume 5 n.1 Jan/Mar 2000. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina.
- PINTO, L. H., PINHEIRO, S. A. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana**. Publicação da Fundação Estadual do Meio Ambiente de Minas Gerais. Belo Horizonte, FEAM: 2006.
- PEREIRA, Vanessa Mariano. **Elementos básicos para desenvolvimento de projetos de drenagem urbana: Estudo de caso na bacia do córrego Ipiranga em São Bernardo do Campo-SP**. Tese (Mestrado programa de Pós-graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia-MG, Uberlândia.
- PORTO, (1993) - ABC3- **Análise de Cheias Complexas**. Manual do Usuário. Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, São Paulo (SP).

PREFEITURA MUNICIPAL VARGINHA, **Hidrologia e Desenvolvimento**, disponível em [www.varginha.mg.gov.br](http://www.varginha.mg.gov.br) - acessado em 25-04-2015 às 20: 20.

RIGHETTO, A.M. **Hidrologia e recursos hídricos**. São Carlos: EESC/USP, 1998. 840 p.

SANTOS, Luciana Cabral Costa. **Proposição de Funções Regionais para Avaliação de Vazões Máximas nas Bacias Hidrográficas dos Rios Itapemirim e Itabapoana**. Monografia do Curso de Bacharel em Ciências Biológicas. Universidade Federal do Espírito Santo; Vitória-ES, 2010.

TOMAZ, Plínio. **Cálculos hidrológicos e hidráulicos para obras municipais**. São Paulo. Navegar editora 2011.

TUCCI, C.E.M, org. **Hidrologia – Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: FRGS/EDUSP/ABRH, 1993.

TUCCI, C.E.M. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: Princípios e Concepções**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS, n.2, p.1-8, 1997.

TUCCI, C.E.M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 7, p. 5-27. 2002 TUCCI, Carlos E. M. Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil.

TUCCI, C. E. M., BERTONI, J. C., **Inundações urbanas na América do Sul**. ABRH, Porto Alegre, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. Org. 2 ed. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS: ABRH, 2007.

VILLELA, S. W. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo, McGraw-Hill do Brasil, 1975.

WATANABE, Frederico Mamoru. **Análise do método de Gumbel para cálculo do dimensionamento de vertedouros.** Monografia do curso de Engenharia Elétrica. Universidade de São Paulo (USP); São Paulo-SP, 2013.



## 9 ANEXOS

Anexo 1: Série histórica da bacia de Guaxupé

SÉRIE HISTÓRICA DE 30 ANOS - GUAXUPÉ					
DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)
01/01/1976	3,86	01/01/1981	7,66	01/01/1986	3,95
01/02/1976	7,84	01/02/1981	8,30	02/01/1986	3,37
01/03/1976	12,76	01/03/1981	3,72	03/01/1986	5,68
01/04/1976	7,29	01/04/1981	2,95	04/01/1986	1,47
01/05/1976	11,20	01/05/1981	1,95	05/01/1986	2,60
01/06/1976	4,01	01/06/1981	2,13	06/01/1986	0,76
01/07/1976	11,70	01/07/1981	1,45	07/01/1986	1,16
01/08/1976	5,98	01/08/1981	1,39	08/01/1986	0,89
01/09/1976	7,29	01/09/1981	1,73	09/01/1986	0,62
01/10/1976	2,68	01/10/1981	11,90	10/01/1986	2,97
01/11/1976	2,62	01/11/1981	5,24	11/01/1986	0,51
01/12/1976	7,75	01/12/1981	11,10	12/01/1986	0,67
01/01/1977	27,72	01/01/1982	9,28	01/01/1987	3,65
01/02/1977	2,79	01/02/1982	6,50	01/02/1987	4,75
01/03/1977	2,73	01/03/1982	17,15	01/03/1987	2,86
01/04/1977	2,54	01/04/1982	4,08	01/04/1987	3,87
01/05/1977	1,56	01/05/1982	3,29	01/05/1987	1,87
01/06/1977	1,83	01/06/1982	3,36	01/06/1987	1,47
01/07/1977	0,93	01/07/1982	3,93	01/07/1987	1,58
01/08/1977	2,00	01/08/1982	2,49	01/08/1987	1,11
01/09/1977	2,86	01/09/1982	3,65	01/09/1987	1,58
01/10/1977	4,55	01/10/1982	5,42	01/10/1987	3,12
01/11/1977	7,28	01/11/1982	15,61	01/11/1987	14,26
01/12/1977	4,40	01/12/1982	20,27	01/12/1987	2,97
01/01/1978	2,42	01/01/1984	14,03	01/01/1988	2,90
01/02/1978	1,61	01/02/1984	20,27	01/02/1988	3,70
01/03/1978	1,41	01/03/1984	10,63	01/03/1988	3,12
01/04/1978	0,93	01/04/1984	5,26	01/04/1988	1,87
01/05/1978	1,67	01/05/1984	15,29	01/05/1988	1,87
01/06/1978	1,26	01/06/1984	6,82	01/06/1988	4,04
01/07/1978	1,21	01/07/1984	2,78	01/07/1988	0,93
01/08/1978	0,39	01/08/1984	1,84	01/08/1988	0,80
01/09/1978	2,18	01/09/1984	6,57	01/09/1988	1,07
01/10/1978	1,72	01/10/1984	7,60	01/10/1988	1,80
01/11/1978	3,53	01/11/1984	4,19	01/11/1988	1,69
01/12/1978	5,98	01/12/1984	13,00	01/12/1988	6,77
01/01/1979	2,67	01/01/1984	3,18	01/01/1989	8,40
01/02/1979	7,73	01/02/1984	4,34	01/02/1989	3,54
01/03/1979	5,25	01/03/1984	2,20	01/03/1989	8,52
01/04/1979	2,18	01/04/1984	1,90	01/04/1989	2,12
01/05/1979	4,47	01/05/1984	1,33	01/05/1989	1,36
01/06/1979	0,80	01/06/1984	0,80	01/06/1989	1,42
01/07/1979	1,21	01/07/1984	0,84	01/07/1989	1,87
01/08/1979	0,89	01/08/1984	1,11	01/08/1989	0,93
01/09/1979	2,92	01/09/1984	2,12	01/09/1989	2,32
01/10/1979	1,78	01/10/1984	1,16	01/10/1989	0,76
01/11/1979	1,11	01/11/1984	1,93	01/11/1989	1,42
01/12/1979	8,19	01/12/1984	3,37	01/12/1989	2,32
01/01/1980	10,42	01/01/1985	3,78	01/01/1990	3,78
01/02/1980	3,60	01/02/1985	2,82	01/02/1990	2,12
01/03/1980	2,36	01/03/1985	6,99	01/03/1990	2,68
01/04/1980	2,67	01/04/1985	4,50	01/04/1990	1,69
01/05/1980	1,07	01/05/1985	2,19	01/05/1990	1,69
01/06/1980	4,63	01/06/1985	0,93	01/06/1990	0,65
01/07/1980	0,60	01/07/1985	0,84	01/07/1990	1,07
01/08/1980	0,46	01/08/1985	0,72	01/08/1990	2,32
01/09/1980	0,49	01/09/1985	0,89	01/09/1990	1,31
01/10/1980	3,19	01/10/1985	0,84	01/10/1990	3,05
01/11/1980	5,73	01/11/1985	3,62	01/11/1990	1,31
01/12/1980	15,50	01/12/1985	1,87	01/12/1990	2,60

DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)
01/01/1991	10,89	1996	8,40	01/01/2001	17,1
01/02/1991	14,53	1996	8,17	01/02/2001	3,0
01/03/1991	9,33	1996	6,55	01/03/2001	8,6
01/04/1991	6,21	1996	3,12	01/04/2001	2,3
01/05/1991	3,12	1996	2,90	01/05/2001	1,4
01/06/1991	1,20	1996	1,42	01/06/2001	0,4
01/07/1991	1,69	1996	1,31	01/07/2001	0,8
01/08/1991	0,76	1996	1,11	01/08/2001	0,6
01/09/1991	0,93	1996	3,54	01/09/2001	1,4
01/10/1991	2,90	1996	3,37	01/10/2001	1,4
01/11/1991	1,52	1996	6,21	01/11/2001	2,7
01/12/1991	6,55	1996	4,41	01/12/2001	6,1
01/01/1992	9,10	1997	10,50	01/01/2002	5,0
01/02/1992	6,44	1997	5,48	01/02/2002	16,4
01/03/1992	3,37	1997	3,45	01/03/2002	2,8
01/04/1992	7,58	1997	2,60	01/04/2002	1,1
01/05/1992	3,05	1997	4,69	01/05/2002	1,2
01/06/1992	1,74	1997	2,25	01/06/2002	0,5
01/07/1992	1,11	1997	0,89	01/07/2002	0,5
01/08/1992	1,02	1997	0,89	01/08/2002	0,4
01/09/1992	3,54	1997	0,98	01/09/2002	0,8
01/10/1992	7,93	1997	0,98	01/10/2002	1,3
01/11/1992	3,20	1997	2,82	01/11/2002	3,0
01/12/1992	2,06	1997	7,23	01/12/2002	12,3
01/01/1993	1,47	1998	14,26	01/01/2003	13,7
01/02/1993	6,32	1998	9,10	01/02/2003	38,0
01/03/1993	7,11	1998	2,32	01/03/2003	4,4
01/04/1993	3,87	1998	2,00	01/04/2003	11,2
01/05/1993	3,87	1998	1,93	01/05/2003	3,3
01/06/1993	1,63	1998	0,93	01/06/2003	0,8
01/07/1993	0,93	1998	0,72	01/07/2003	1,0
01/08/1993	1,07	1998	0,98	01/08/2003	0,7
01/09/1993	1,16	1998	0,58	01/09/2003	0,4
01/10/1993	1,52	1998	1,52	01/10/2003	1,8
01/11/1993	5,58	1998	0,76	01/11/2003	2,8
01/12/1993	3,37	1998	3,70	01/12/2003	7,2
01/01/1994	7,23	1999	16,26	01/01/2004	15,6
01/02/1994	3,62	1999	2,32	01/02/2004	13,6
01/03/1994	3,29	1999	6,10	01/03/2004	6,7
01/04/1994	2,19	1999	2,06	01/04/2004	2,9
01/05/1994	8,29	1999	1,80	01/05/2004	2,0
01/06/1994	1,07	1999	1,11	01/06/2004	3,2
01/07/1994	0,89	1999	0,80	01/07/2004	1,1
01/08/1994	0,72	1999	0,55	01/08/2004	0,7
01/09/1994	0,65	1999	0,80	01/09/2004	0,8
01/10/1994	1,58	1999	0,55	01/10/2004	1,5
01/11/1994	4,78	1999	1,31	01/11/2004	8,4
01/12/1994	4,04	1999	2,00	01/12/2004	10,4
01/01/1995	2,19	2000	23,00	01/01/2005	10,8
01/02/1995	10,15	2000	10,50	01/02/2005	4,4
01/03/1995	7,70	2000	9,92	01/03/2005	6,9
01/04/1995	10,50	2000	1,52	01/04/2005	2,5
01/05/1995	4,23	2000	0,98	01/05/2005	29,6
01/06/1995	1,11	2000	0,65	01/06/2005	1,2
01/07/1995	0,98	2000	0,84	01/07/2005	1,4
01/08/1995	0,76	2000	1,69	01/08/2005	0,7
01/09/1995	2,97	2000	2,90	01/09/2005	1,3
01/10/1995	7,58	2000	0,51	01/10/2005	2,8
01/11/1995	2,90	2000	1,87	01/11/2005	3,5
01/12/1995	3,54	2000	6,32	01/12/2005	3,5



## Anexo 2: Série histórica da bacia de Usina Bocainas

SERIE HISTORICA DE 30 ANOS - USINA BOCAINAS					
DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)
01/01/1976	3,86	01/01/1981	7,66	01/01/1986	3,95
01/02/1976	7,84	01/02/1981	8,30	02/01/1986	3,37
01/03/1976	12,76	01/03/1981	3,72	03/01/1986	5,68
01/04/1976	7,29	01/04/1981	2,95	04/01/1986	1,47
01/05/1976	11,20	01/05/1981	1,95	05/01/1986	2,60
01/06/1976	4,01	01/06/1981	2,13	06/01/1986	0,76
01/07/1976	11,70	01/07/1981	1,45	07/01/1986	1,16
01/08/1976	5,98	01/08/1981	1,39	08/01/1986	0,89
01/09/1976	7,29	01/09/1981	1,73	09/01/1986	0,62
01/10/1976	2,68	01/10/1981	11,90	10/01/1986	2,97
01/11/1976	2,62	01/11/1981	5,24	11/01/1986	0,51
01/12/1976	7,75	01/12/1981	11,10	12/01/1986	0,67
01/01/1977	27,72	01/01/1982	9,28	01/01/1987	3,65
01/02/1977	2,79	01/02/1982	6,50	01/02/1987	4,75
01/03/1977	2,73	01/03/1982	17,15	01/03/1987	2,86
01/04/1977	2,54	01/04/1982	4,08	01/04/1987	3,87
01/05/1977	1,50	01/05/1982	3,29	01/05/1987	1,87
01/06/1977	1,83	01/06/1982	3,36	01/06/1987	1,47
01/07/1977	0,93	01/07/1982	3,93	01/07/1987	1,58
01/08/1977	2,00	01/08/1982	2,49	01/08/1987	1,11
01/09/1977	2,86	01/09/1982	3,65	01/09/1987	1,58
01/10/1977	4,55	01/10/1982	5,42	01/10/1987	3,12
01/11/1977	7,28	01/11/1982	15,61	01/11/1987	14,26
01/12/1977	4,40	01/12/1982	20,27	01/12/1987	2,97
01/01/1978	2,42	01/01/1984	14,03	01/01/1988	2,90
01/02/1978	1,61	01/02/1984	20,27	01/02/1988	3,70
01/03/1978	1,41	01/03/1984	10,63	01/03/1988	3,12
01/04/1978	0,93	01/04/1984	5,26	01/04/1988	1,87
01/05/1978	1,67	01/05/1984	15,29	01/05/1988	1,87
01/06/1978	1,26	01/06/1984	0,82	01/06/1988	4,04
01/07/1978	1,21	01/07/1984	2,78	01/07/1988	0,93
01/08/1978	0,39	01/08/1984	1,84	01/08/1988	0,80
01/09/1978	2,18	01/09/1984	6,57	01/09/1988	1,07
01/10/1978	1,72	01/10/1984	7,60	01/10/1988	1,80
01/11/1978	3,53	01/11/1984	4,19	01/11/1988	1,69
01/12/1978	5,98	01/12/1984	13,00	01/12/1988	6,77
01/01/1979	2,67	01/01/1984	3,18	01/01/1989	8,40
01/02/1979	7,73	01/02/1984	4,34	01/02/1989	3,54
01/03/1979	5,25	01/03/1984	2,20	01/03/1989	8,52
01/04/1979	2,18	01/04/1984	1,90	01/04/1989	2,12
01/05/1979	4,47	01/05/1984	1,33	01/05/1989	1,36
01/06/1979	0,80	01/06/1984	0,80	01/06/1989	1,42
01/07/1979	1,21	01/07/1984	0,84	01/07/1989	1,87
01/08/1979	0,89	01/08/1984	1,11	01/08/1989	0,93
01/09/1979	2,92	01/09/1984	2,12	01/09/1989	2,32
01/10/1979	1,78	01/10/1984	1,16	01/10/1989	0,76
01/11/1979	1,11	01/11/1984	1,93	01/11/1989	1,42
01/12/1979	8,19	01/12/1984	3,37	01/12/1989	2,32
01/01/1980	10,42	01/01/1985	3,78	01/01/1990	3,78
01/02/1980	3,60	01/02/1985	2,82	01/02/1990	2,12
01/03/1980	2,36	01/03/1985	6,99	01/03/1990	2,68
01/04/1980	2,67	01/04/1985	4,50	01/04/1990	1,69
01/05/1980	1,07	01/05/1985	2,19	01/05/1990	1,69
01/06/1980	4,63	01/06/1985	0,93	01/06/1990	0,65
01/07/1980	0,60	01/07/1985	0,84	01/07/1990	1,07
01/08/1980	0,46	01/08/1985	0,72	01/08/1990	2,32
01/09/1980	0,49	01/09/1985	0,89	01/09/1990	1,31
01/10/1980	3,19	01/10/1985	0,84	01/10/1990	3,05
01/11/1980	5,73	01/11/1985	3,62	01/11/1990	1,31
01/12/1980	15,50	01/12/1985	1,87	01/12/1990	2,60



DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)	DATA	VAZÃO MÁXIMA (l/s)
01/01/1991	10,89	1996	8,40	01/01/2001	17,1
01/02/1991	14,53	1996	8,17	01/02/2001	3,0
01/03/1991	9,33	1996	6,55	01/03/2001	8,6
01/04/1991	6,21	1996	3,12	01/04/2001	2,3
01/05/1991	3,12	1996	2,90	01/05/2001	1,4
01/06/1991	1,20	1996	1,42	01/06/2001	0,4
01/07/1991	1,69	1996	1,31	01/07/2001	0,8
01/08/1991	0,76	1996	1,11	01/08/2001	0,6
01/09/1991	0,93	1996	3,54	01/09/2001	1,4
01/10/1991	2,90	1996	3,37	01/10/2001	1,4
01/11/1991	1,52	1996	6,21	01/11/2001	2,7
01/12/1991	6,55	1996	4,41	01/12/2001	6,1
01/01/1992	9,10	1997	10,50	01/01/2002	5,0
01/02/1992	6,44	1997	5,48	01/02/2002	16,4
01/03/1992	3,37	1997	3,45	01/03/2002	2,8
01/04/1992	7,58	1997	2,60	01/04/2002	1,1
01/05/1992	3,05	1997	4,69	01/05/2002	1,2
01/06/1992	1,74	1997	2,25	01/06/2002	0,5
01/07/1992	1,11	1997	0,89	01/07/2002	0,5
01/08/1992	1,02	1997	0,89	01/08/2002	0,4
01/09/1992	3,54	1997	0,98	01/09/2002	0,8
01/10/1992	7,93	1997	0,98	01/10/2002	1,3
01/11/1992	3,20	1997	2,82	01/11/2002	3,0
01/12/1992	2,00	1997	7,23	01/12/2002	12,3
01/01/1993	1,47	1998	14,26	01/01/2003	13,7
01/02/1993	6,32	1998	9,10	01/02/2003	38,0
01/03/1993	7,11	1998	2,32	01/03/2003	4,4
01/04/1993	3,87	1998	2,00	01/04/2003	11,2
01/05/1993	3,87	1998	1,93	01/05/2003	3,3
01/06/1993	1,63	1998	0,93	01/06/2003	0,8
01/07/1993	0,93	1998	0,72	01/07/2003	1,0
01/08/1993	1,07	1998	0,98	01/08/2003	0,7
01/09/1993	1,16	1998	0,58	01/09/2003	0,4
01/10/1993	1,52	1998	1,52	01/10/2003	1,8
01/11/1993	5,58	1998	0,76	01/11/2003	2,8
01/12/1993	3,37	1998	3,70	01/12/2003	7,2
01/01/1994	7,23	1999	16,26	01/01/2004	15,6
01/02/1994	3,62	1999	2,32	01/02/2004	13,6
01/03/1994	3,29	1999	6,10	01/03/2004	6,7
01/04/1994	2,19	1999	2,06	01/04/2004	2,9
01/05/1994	8,29	1999	1,80	01/05/2004	2,0
01/06/1994	1,07	1999	1,11	01/06/2004	3,2
01/07/1994	0,89	1999	0,80	01/07/2004	1,1
01/08/1994	0,72	1999	0,55	01/08/2004	0,7
01/09/1994	0,65	1999	0,80	01/09/2004	0,8
01/10/1994	1,58	1999	0,55	01/10/2004	1,5
01/11/1994	4,78	1999	1,31	01/11/2004	8,4
01/12/1994	4,04	1999	2,00	01/12/2004	10,4
01/01/1995	2,19	2000	23,00	01/01/2005	10,8
01/02/1995	10,15	2000	10,50	01/02/2005	4,4
01/03/1995	7,70	2000	9,92	01/03/2005	6,9
01/04/1995	10,50	2000	1,52	01/04/2005	2,5
01/05/1995	4,23	2000	0,98	01/05/2005	29,6
01/06/1995	1,11	2000	0,65	01/06/2005	1,2
01/07/1995	0,98	2000	0,84	01/07/2005	1,4
01/08/1995	0,76	2000	1,69	01/08/2005	0,7
01/09/1995	2,97	2000	2,90	01/09/2005	1,3
01/10/1995	7,58	2000	0,51	01/10/2005	2,8
01/11/1995	2,90	2000	1,87	01/11/2005	3,5
01/12/1995	3,54	2000	0,32	01/12/2005	3,3