

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO  
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE FINANCEIRA DE IMPLANTAÇÃO DE GALERIAS PLUVIAIS  
ADOTANDO DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO – ESTUDO DE CASO**

**ANDRÉ DE OLIVEIRA SILVA**

Presidente Prudente/SP

2019

**CENTRO UNIVERSITÁRIO  
ANTÔNIO EUFRÁSIO DE TOLEDO  
DE PRESIDENTE PRUDENTE**

**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**ANÁLISE FINANCEIRA DE IMPLANTAÇÃO DE GALERIAS PLUVIAIS  
ADOTANDO DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO – ESTUDO DE CASO**

ANDRE DE OLIVEIRA SILVA

Trabalho de Conclusão apresentado como requisito parcial de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Dr. Rodrigo Cezar Criado.

Presidente Prudente/SP

2019

**ANÁLISE FINANCEIRA DE IMPLANTAÇÃO DE GALERIAS PLUVIAIS  
ADOTANDO DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO – ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão apresentado como requisito parcial de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Dr. Rodrigo Cezar Criado.

Prof. Dr. Rodrigo Cézar Criado

Prof. Msc. Alonso Droppa Junior

Prof. Msc. Murilo Gonçalves Cavalheiro

Presidente Prudente, 14 de novembro de 2019

Do or do not. There is no try

Mestre Yoda

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha família e a todos que de alguma forma estiveram presentes ao longo desta jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus pela graça concedida para a realização deste árduo curso.

Agradeço aos meus pais por tudo o que me proporcionaram até hoje.

Agradeço ao meu irmão pelas palavras de incentivo ao longo deste percurso.

Agradeço aos meus amigos que me incentivaram nos momentos em que desistir parecia ser a única opção.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Rodrigo Cezar Criado, por aceitar o desafio desta orientação, pelos conhecimentos prestados e pela confiança depositada em mim.

Agradeço aos amigos Erivelton e Danilo por terem feito parte desta caminhada.

## RESUMO

O presente trabalho analisa os impactos financeiros para implantação de uma galeria de águas pluviais constante no Plano de Macrodrenagem de um município do Oeste Paulista, com a adoção de Período de Retorno diferente do proposto, simulando assim as relações entre o custo da obra e o incremento da segurança em função do risco associado. O tema da pesquisa está inserido no campo da Hidrologia e Hidráulica e fez uso de documentos constantes no Plano de Macrodrenagem do município e equações de intensidade de chuva para determinações de vazões de projeto. A pesquisa buscou descrever as relações existentes entre a adoção de diferentes períodos de retorno para a vazão de projeto e seus impactos no custo final de implantação e, em conseqüência, o aumento da segurança da obra em face de eventos hidrológicos extremos. A análise também abrangeu os impactos que o uso e ocupação do solo exercem sobre tais obras e como tal tema é de relevância para a entidade gestora da drenagem urbana. O trabalho permitiu avaliar que a obra em tela suportaria uma vazão de projeto com o período de retorno adotado e que o custo final da mesma, com a adoção de um período de retorno maior, proporcionaria mais segurança a mesma em caso de evento hidrológico extremo e com alto grau de impermeabilização da bacia.

**Palavras-chave:** Galeria de Águas Pluviais. Hidrologia. Plano de Drenagem. Orçamento de Obra. Análise de Risco. Período de Retorno.

## ABSTRACT

The present work analyzes the financial impacts for the implementation of a rainwater gallery contained in the Macrodrainage Plan of a municipality of Oeste Paulista with the adoption of a different Return Period than the one proposed, thus simulating the relationship between the cost of the work and the increment of safety based on the risk associated. The research theme is inserted in the field of Hydrology and Hydraulics and made use of documents contained in the municipality's Macrodrainage Plan and rainfall intensity equations for project flow determinations. The research sought to describe the relationship between the adoption of different payback periods for the project flow and their impacts on the final cost of implementation and, as a result, the increased safety of the work in the face of extreme hydrological events. The analysis also covered the impacts that land use and occupation have on such works and how this theme is of relevance to the urban drainage management entity. The work allowed to evaluate that the construction would support a project flow with the adopted return period and that its final cost, with the adoption of a longer return period, would provide more security in case of extreme hydrological event and with a high degree of waterproofing of the basin.

**Key words:** Stormwater Gallery. Hydrology. Drainage Plain. Work Budget. Risk Analysis. Return Period.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

### ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - População nos Censos Demográficos, segundo a situação do domicílio – 2010 .....	14
FIGURA 2 - Inundação nas marginais do rio Tietê .....	16
FIGURA 3 - Perfil esquemático do processo de enchente e inundação .....	17
FIGURA 4 - Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico .....	18
FIGURA 5 - Estrutura do Plano de Drenagem Urbana.....	22
FIGURA 6 - Rua pavimentada, guias e sarjetas.....	24
FIGURA 7 - Boca de lobo simples.....	25
FIGURA 8 - Boca de lobo com grelhas .....	25
FIGURA 9 - Boca de lobo combinada .....	26
FIGURA 10 - Boca de lobo múltipla .....	26
FIGURA 11 - Boca de lobo com tubos de conexão.....	27
FIGURA 12 - Acesso ao poço de visita .....	28
FIGURA 13 - Execução de galeria de águas pluviais.....	29
FIGURA 14 - Dissipação de energia tipo “Degrau” .....	30
FIGURA 15 - Canal revestido de concreto com despejo de vazão de galeria pluvial.....	30
FIGURA 16 - Equações de Chuvas Intensas no Estado de São Paulo.....	34
FIGURA 17 - Relevo de uma bacia hidrográfica com talvegues e divisores de água.....	36
FIGURA 18 - Local com proposta de implantação de galeria pluvial .....	43

### TABELAS

TABELA 1 - Frequência das chuvas de projeto para galerias pluviais .....	31
TABELA 2 - Valores recomendados para o coeficiente C ou runoff.....	35
TABELA 3 - Períodos de retorno em sistemas de drenagem.....	41
TABELA 4 - Probabilidade da ocorrência de um evento hidrológico em função de T e vida útil .....	42
TABELA 5 – Orçamento da obra com tubulação de Ø 0,60 m .....	44
TABELA 6 – Orçamento da obra com tubulação de Ø 0,80 m .....	45
TABELA 7 – Previsão de máximas intensidades de chuvas, em mm/h, posto D8-041 (Martinópolis).....	47
TABELA 8 – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 25 anos .....	49
TABELA 9 – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,60 m .....	49
TABELA 10 – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 100 anos .....	50
TABELA 11 – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,80 m .....	51
TABELA 12 – Síntese dos resultados obtidos.....	52
TABELA 13 – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 25 anos e C = 1,00.....	53
TABELA 14 – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,60 m e C = 1,00 .....	53
TABELA 15 – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 100 anos e C = 1,00.....	54
TABELA 16 – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,80 m e C = 1,00 .....	55
TABELA 17 – Síntese dos resultados obtidos.....	55
TABELA 18 – Síntese final dos resultados obtidos .....	56

## SUMÁRIO

<b>1 TEMA</b> .....	9
<b>2 JUSTIFICATIVA</b> .....	9
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	9
3.1 Objetivo Geral .....	9
3.2 Objetivos Específicos .....	10
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	10
<b>5 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>6 DRENAGEM URBANA</b> .....	12
6.1 Urbanização e Drenagem.....	15
6.2 Inundações Urbanas .....	17
6.3 Planejamento da Drenagem Urbana .....	19
6.4 Componentes da Drenagem Urbana.....	25
6.4.1 Sistema de micro-drenagem ou drenagem inicial .....	25
6.4.1.1 Ruas, guias e sarjetas .....	25
6.4.1.2 Bocas de lobo.....	26
6.4.1.3 Tubos de Conexão .....	29
6.4.1.4 Poços de visita .....	29
6.4.1.5 Galerias pluviais .....	30
6.4.1.6 Dissipadores de energia.....	31
6.4.1.7 Macrodrenagem .....	32
<b>4 MÉTODOS CHUVA X VAZÃO</b> .....	33
4.1 Método Racional .....	34
4.1.1 Coeficiente de escoamento superficial (runoff) .....	35
4.1.2 Intensidade da precipitação.....	36
4.1.3 Duração da chuva e tempo de concentração .....	37
4.1.4 Área de drenagem.....	37
<b>5 ANÁLISE DE RISCO EM OBRAS HIDRAULICAS</b> .....	38
5.1 Período de Retorno .....	40
<b>9 RESULTADOS</b> .....	43
9.1 Do orçamento da obra.....	43
9.2 Da capacidade hidráulica .....	46
9.2 Cenários com alto grau de impermeabilização da bacia .....	52
<b>10 CONCLUSÃO</b> .....	57
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	58

## **1 TEMA**

O trabalho será desenvolvido com o intuito de verificar o impacto financeiro final em uma obra de Galeria de Água Pluvial utilizando como referência períodos de retorno (TR) maiores do que os comumente utilizados em projeto.

## **2 JUSTIFICATIVA**

Considerando que o Sistema de Drenagem Urbana é um dos conjuntos de melhoramentos executados em uma cidade, o planejamento correto deste sistema garante que durante a ocorrência de eventos hidrológicos extremos sua função seja atendida, garantindo satisfação e acima de tudo a segurança ao usuário.

Visto que vivemos em um período de debates relacionados aos efeitos da mudança do clima e seus impactos, é de suma importância que no processo de planejamento deste sistema possamos trabalhar com cenários que prevejam tais impactos sobre o nosso cotidiano, em especial antes de sua execução que, já mal realizada causam imensos transtornos na vida das cidades e alterações posteriores impactam financeiramente a saúde financeira do executor, que no caso são os municípios.

## **3 OBJETIVOS**

### **3.1 Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo verificar os impactos financeiros em uma obra de galeria de águas pluviais adotando como parâmetro de cálculo de vazão de projeto um período de retorno maior do que o recomendado em literatura.

### 3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho consistem em:

- Verificação do custo final da obra de uma galeria pluvial adotando um período de retorno recomendado em literatura;
- Verificação da capacidade de escoamento da mesma galeria considerando a tubulação com o diâmetro proposto no plano e período de retorno maior que o recomendado;
- Custo final da obra desta galeria considerando o período de retorno maior que o recomendado e o diâmetro nominal maior que o previsto no plano.

## 4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, foram realizadas as seguintes atividades:

- Revisão bibliográfica do tema proposto para contextualização dos temas envolvidos utilizando: livros, artigos científicos, e trabalhos acadêmicos.
- Seleção de um trecho previsto para implantação de uma Galeria de Águas Pluviais no Plano Diretor de Drenagem de um município da região como estudo de caso.
- Alteração dos diâmetros nominais constantes neste plano, considerando a adoção de um Período de Retorno maior que o utilizado, para verificação do custo final da obra após tal alteração, considerando como referência o Boletim Referencial de Custos - Tabela de Serviços - da Companhia Paulista de Obras e Serviços (CPOS).

Verificar a relação custo x benefício entre o custo final da obra com os critérios propostos no trabalho e o aumento da capacidade de escoamento da tubulação.

## 5 INTRODUÇÃO

As atividades humanas sempre tiveram uma estreita relação com a água. No início da organização das populações em pequenos núcleos, as mesmas consideravam a proximidade com os corpos d'água para satisfazer suas necessidades primárias. Em função do tempo tais necessidades foram ampliadas para atender necessidades específicas, como a ocupação das margens do Rio Nilo, no Egito, para irrigação de culturas ou as grandes obras do Império Romano para transporte de água até os centros urbanos.

Já no século XVIII a relação das áreas urbanas com a água se tornou uma grave crise econômica, social e ambiental. Com a procura pelos centros urbanos em função desta revolução, as cidades passaram a experimentar altos índices de urbanização, causada pela procura dos trabalhadores do campo em moradias nas cidades em função das fábricas que os empregavam.

A partir daí, surgiram os problemas relacionados a situação degradante das moradias e os baixos índices de saneamento disponível, em especial a coleta e tratamento de esgoto e água com índices de potabilidade aceitáveis. No Brasil este fenômeno pode ser observado a partir de 1970, com o índice da população residindo nas áreas urbanas ultrapassando àquelas das áreas rurais. Aliado a isto, a falta de planejamento urbano propiciou o desenvolvimento desordenado das cidades, com a ocupação de áreas suscetíveis a desastres naturais, em especial as inundações e o alto grau de impermeabilização dos solos, incrementando o volume de água que escoam superficialmente no solo.

Como conjunto dos melhoramentos existentes no meio urbano, os sistemas de drenagem são os dispositivos responsáveis pelo escoamento das águas das chuvas de maneira segura até o seu ponto de lançamento e assim garantir a segurança à cidade contra os impactos de eventos hidrológicos extremos. Porém, como tais dispositivos, em geral, são de responsabilidade dos gestores municipais, e em muitos casos os sistemas de drenagem são executados sem o devido planejamento das condições atuais e futuras das bacias, fazendo com que ao término das obras as mesmas estejam obsoletas ou subdimensionadas.

Uma ferramenta necessária para os municípios é a elaboração do Plano Diretor de Drenagem. Tal plano, em consonância com o Plano Diretor, deve considerar as áreas suscetíveis a inundações, as medidas de curto, médio e longo

prazo e o horizonte dos projetos a serem executados. Dentro destes horizontes, o gestor deve atribuir quais os riscos podem ser assumidos para as obras, sendo que o parâmetro utilizado em hidrologia é o período de retorno, que em suma admite a probabilidade de um evento hidrológico ser superado em um determinado período de tempo. Os períodos de retorno adotados em projetos de obras hidráulicas seguem em suma valores pré-recomendados em função da utilização da obra e foram estabelecidos ao longo do tempo considerando a experiência.

Apesar de serem aceitos como ideais, é de conhecimento de todos os possíveis impactos causados pelas mudanças climáticas no planeta, cujos reflexos se darão na alteração dos regimes de chuvas, ocasionando longas secas e chuvas com grandes intensidades num curto período de tempo. Como os sistemas de drenagem visam garantir proteção a cidade contra estes eventos, é recomendável que no processo de planejamento da drenagem sejam considerados períodos de retorno maiores, adotando assim um critério de segurança maior.

## **6 DRENAGEM URBANA**

Desde os primórdios da humanidade o homem tem se esforçado para lidar com problemas causados pela natureza, em especial à água, para o desenvolvimento de suas atividades, com a adoção de soluções empíricas que momentaneamente atendessem suas necessidades (GRIBBIN, 2009).

Gribbin (2009) ressalta que a manipulação em grande escala da água se deu inicialmente em função das grandes irrigações necessárias para atendimento de atividades rurais, em especial no Egito a mais de 5 mil anos. Com o passar dos anos muitos projetos foram desenvolvidos no Mediterrâneo e no Oriente, como a construção de canais, represas e aquedutos.

Já num período mais recente, a população passou a se concentrar nas áreas urbanas que, com o crescimento acelerado aliado ao mau planejamento do uso e ocupação do solo, passou a enfrentar novos problemas relacionados à água, em especial às inundações. Para tanto, é essencial para o funcionamento de uma cidade a execução dos dispositivos de drenagem. Segundo Philippi Jr et. al. (2005), a execução do sistema de drenagem por parte do poder público é fator preponderante para evitar ou minimizar os efeitos das inundações.

O termo Drenagem é utilizado para designar as instalações cuja finalidade é escoar o excesso de água na zona rural ou na malha urbana e consiste em um dos diversos conjuntos de melhoramentos públicos existentes em uma cidade, juntamente com as redes de água, esgoto sanitário, pavimentação de ruas e iluminação pública (DAEE/CETESB 1980). Embora seja considerada como um dos componentes dos sistemas de saneamento, a drenagem urbana é a complementação do sistema viário e compõe os sistemas de infraestrutura urbana (MASCARÓ, 2005).

Com relação a drenagem urbana, a Lei Federal nº 11.445, de 2007 diz:

Art. 2º. Para fins do disposto nesta Lei, considera-se: I-A – saneamento básico – conjunto e serviços. Infraestruturas e instalações operacionais de: [...] d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, constituídos pelas atividades, pela infraestrutura e pelas instalações operacionais de drenagem de águas pluviais, de transporte, detenção ou retenção para o amortecimento de vazões de cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas, contempladas a limpeza e a fiscalização preventiva das redes. (LEI FEDERAL Nº 11.445 DE 2007).

Uma característica importante quanto ao sistema de drenagem é que com ou sem a implantação do mesmo na área urbana o escoamento superficial ocorrerá, sendo que os benefícios e os prejuízos à população se darão em função da qualidade do mesmo. Outra particularidade quanto ao sistema de drenagem é que seu funcionamento está relacionado com a ocorrência de chuvas, fazendo com que não seja solicitado na ausência delas, o que não a isenta de estar em condições ideais de operação a qualquer momento (MIGUEZ, VERÓL & REZENDE, 2016).

Para tanto, são consideradas como componentes da drenagem urbana Medidas Estruturais e Medidas Não Estruturais (PHILIPPI JR ET AL, 2005; CANHOLI 2005).

Philippi Jr et. al. (2005), trata as medidas estruturais como aquelas adotadas em função das características dos problemas que necessitam resolução, como à área a ser drenada ou tipo de ocupação do solo. Para Canholi (2005) as medidas estruturais são implantadas com o objetivo de correção ou preservação dos problemas ocasionados pelas enchentes, apesar de transmitir uma falsa sensação de segurança e incentivar a ocupação de áreas com risco de inundações. Como principais medidas estruturais podemos citar:

- Sistema de coleta da água da chuva no lote e lançamento na rede;
- Sistema de Micro-drenagem;
- Sistema de Macro-drenagem;
- Reservatórios para controle de cheias;
- Reservatórios urbanos para detenção ou bacias de detenção;
- Drenagem forçada em áreas baixas e;
- Manutenção do sistema de drenagem.

Com relação às medidas estruturais, para Tucci (2006) as mesmas não são projetadas para fornecer uma proteção completa, pois seriam necessárias obras economicamente inviáveis, por tratar-se de proteções contra grandes enchentes. As medidas não estruturais, alinhadas ou não com as medidas estruturais, podem reduzir substancialmente os prejuízos com custos menores. Como medidas não estruturais a serem adotadas (PLILIPPI JR ET AL, 2005; CANHOLI, 2005; TUCCI, 2006) citam:

- Outorga para Controle de Cheias;
- Sistemas de previsão e alerta de inundações;
- Leis de uso e ocupação do solo, através de planos diretores;
- Medidas de retenção de águas pluviais nos lotes e;
- Programas de Educação Ambiental.

Vislumbrando o cenário de que o sistema de drenagem é componente de um conjunto de melhoramentos urbanos, essenciais para o funcionamento de uma cidade, podemos citar alguns dos seus objetivos, conforme Miguez, Veról e Rezende (2016):

- Reduzir os alagamentos de uma determinada região com a minimização dos prejuízos na bacia de interesse;
- Preservar as áreas de várzea através da integração das soluções de drenagem e as paisagens urbanas;
- Manutenção da segurança dos logradouros e condições de tráfego e;
- Integração entre as partes interessadas na bacia, considerando usuários à montante x jusante, para minimizar transferência de inundações para a jusante.

## 6.1 Urbanização e Drenagem

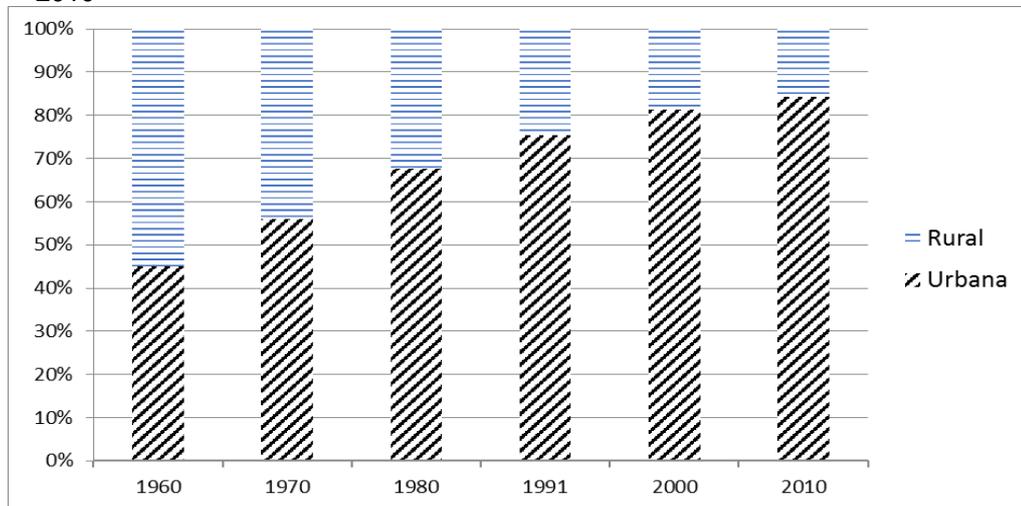
O processo de urbanização tornou-se um fenômeno global e o século XXI indica que viver nas cidades será o local de moradia preferencial do ser humano (VIEIRA NETO, 2011).

Ainda segundo Vieira Neto (2011), a industrialização gerou o desejo de se viver nas cidades que, até então eram de pequeno porte e viviam isoladas. Com a crescente troca da vida no campo pelas cidades, deu-se início ao processo de urbanização.

Analisando a situação brasileira, tal fenômeno pode ser observado com intensidade no século XX, em especial as políticas públicas voltadas para o crescimento industrial em meados do século. Com a mudança na economia em função da Segunda Guerra Mundial e o processo evolutivo da indústria brasileira, a oferta de trabalho à população cresceu e com isso deu-se início a procura pelas cidades (VIEIRA NETO, 2011).

Experimentando crescimento cada vez maior da população urbana, na década de 1970 foi possível notar que o cenário da preferência da população pelas cidades tornou-se preponderante no Brasil, com o percentual de residentes nas cidades ultrapassando àqueles do campo. O gráfico abaixo indica esse fenômeno conforme resultados obtidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), tomando como base as informações produzidas pelos censos demográficos realizados pelo instituto desde 1960, considerando a população segundo a situação do domicílio.

**FIGURA 1 -** População nos Censos Demográficos, segundo a situação do domicílio – 2010



Fonte – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

Conseqüentemente o alto processo de urbanização vem acompanhado de diversos problemas oriundos do alto grau de concentração de pessoas nas áreas urbanas. Segundo IPEA (2008) a concentração de pessoas e atividades econômicas em um espaço limitado gera impactos ambientais e também sociais, visto que o ambiente urbano potencializa os riscos de desastres ambientais que por sua vez impactam as populações mais carentes do meio urbano, estas mais suscetíveis a tais eventos.

Philippi Jr et al (2005) corrobora ao afirmar que todas as atividades humanas interferem diretamente no meio ambiente, podendo ocorrer em harmonia sem grandes impactos ou de maneira desastrosa, causando a degradação total de seu estado natural, sendo a última situação o cenário atual na maioria das cidades. Ainda segundo o autor, o crescente aumento da população nos centros urbanos deve despertar à adoção de políticas públicas visando a gestão das áreas urbanas de maneira sustentável. Para Miguez, Veról & Rezende (2016) a urbanização constitui uma das ações antrópicas com maior impacto ambiental, sendo responsável pela alteração das características originais de cobertura do solo e por consequência o agravamento dos problemas das enchentes urbanas.

Segundo o Ministério das Cidades (2006) um dos principais problemas relacionados a urbanização são as precárias condições dos sistemas de transporte e serviços de saneamento.

Os problemas ambientais gerados nos meios urbanos têm impactos mais drásticos nos países subdesenvolvidos, agravados pelos problemas sociais, econômicos e ambientais, juntamente com limitada capacidade de investimento para solucionar tais problemas. Mediante o fato do crescimento populacional nas cidades brasileiras ser maior nas periferias, são os residentes destes locais os que mais sofrem com a falta dos equipamentos urbanos básicos, em especial dos sistemas de drenagem (PHILIPPI JR et al 2005).

De acordo com Righetto (2009), ao longo do tempo as cidades se desenvolveram próximas dos cursos d'água sem interferência nas calhas principais e secundárias dos rios, motivado pela deficiência tecnológica para grandes intervenções. Com a alteração deste panorama, grande pressão foi exercida sobre estes locais com a execução de obras de sistema viário e retificação das calhas dos rios, o que impulsionou a ocupação de áreas anteriormente naturais a processos de inundações. Ante a esta situação, observa-se o grande impacto ocasionado por problemas de drenagem oriundos da ocorrência de eventos hidrológicos extremos de alta intensidade.

Segundo Canholi (2005), em concordância com as afirmações de Righetto (2009), devido a dependência da população com os corpos hídricos, as cidades foram fundadas nas zonas mais baixas e em proximidade com às áreas de várzeas, uma vez que os rios eram utilizados como meio de transporte e fonte para obtenção de alimentos. Com o passar dos anos, estes locais foram incorporados ao sistema viário, que conseqüentemente acelerou o processo de ocupação das áreas de várzea, principalmente para atendimento de interesses comerciais.

## **6.2 Inundações Urbanas**

Em condições normais, após as precipitações, a água escoam pelo terreno buscando sempre os pontos mais baixos da superfície até o momento onde encontram os córregos e rios, que por sua vez também obedecem tais condições. Estes por sua vez, em seu curso natural, escoam por seções naturais que comportam a sua vazão de base. Em situações de ocorrência de chuvas, conforme sua intensidade e duração, ocorre o incremento de sua vazão e em algumas situações suas águas passam a ocupar suas margens, denominadas várzeas. Nos períodos secos, devido à diminuição da vazão, os rios ocupam seus leitos menores.

Nos períodos chuvosos, os rios passam a ocupar seu leito maior, surgindo assim às planícies alagadas. Estas áreas ocupadas pelos rios, independente da situação climática, dependem da topografia da bacia hidrográfica.

Rios com grandes áreas de inundação são localizados em planícies, com talvegues de baixa declividade. Essa característica faz com que a velocidade dos rios seja baixa e o tempo para o escoamento das cheias seja muito longo. Já os rios rápidos possuem declividade alta e suas águas fluem com elevada velocidade, escoando rapidamente as suas cheias.

Como exemplificação, cita-se o rio Amazonas, conhecido pelas longas cheias nos períodos chuvosos, dada em função da sua baixa declividade e maior tempo para escoamento de sua vazão. Segundo Philippi Jr et al (2005), a cheia do rio Amazonas escoar através de seu leito em até seis meses. Estas condicionantes colaboram com a conhecida situação vivida na cidade de São Paulo.

O rio Tietê possui baixa declividade e, conseqüentemente, demanda mais tempo para escoar a vazão de cheia. Já os córregos que contribuem com suas águas nele possuem altas declividades, fazendo com que suas cheias contribuam rapidamente com o rio. Como recebe rapidamente a vazão de contribuição de seus afluentes e escoar mais lentamente a sua vazão, temos um cenário caótico de inundação em suas margens, hoje altamente ocupadas.

**FIGURA 2 – Inundação nas marginais do rio Tietê**



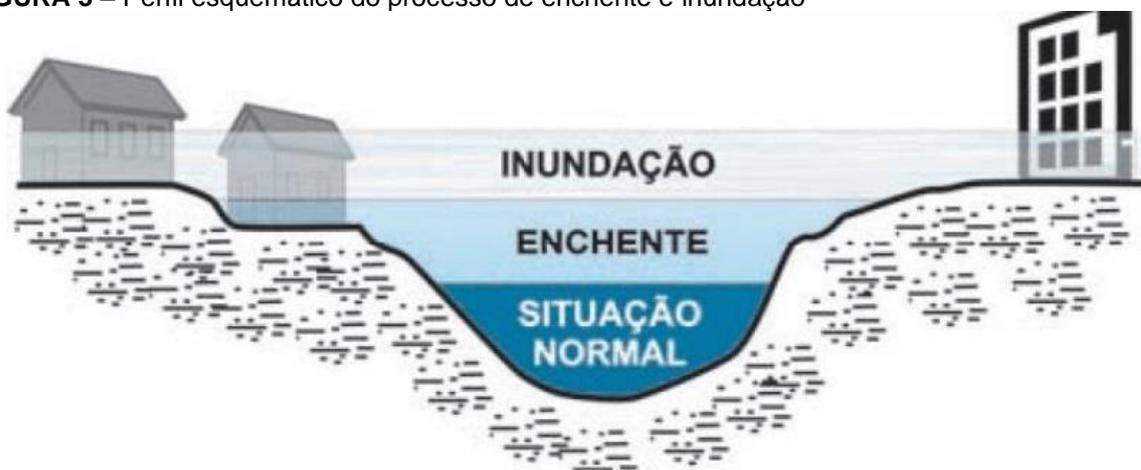
Disponível em: <<http://sosriosdobrasil.blogspot.com/2012/06/livro-escassez-de-agua-e-inundacoes-na.html>> Acesso em 05 mar. 2019.

Segundo Tominaga, Santoro e Amaral (2015), os processos de inundações e enchentes ocorrem de maneira natural com determinada frequência em função de chuvas fortes e rápidas ou de longa duração. Ainda segundo os autores, as inundações e as enchentes caracterizam-se como distúrbios geoambientais oriundos de fenômenos hidrometeorológicos, estando sujeitas à ocorrerem conforme o grau de infiltração de água no solo, intensidade e distribuição espacial da chuva e o estado de saturação do solo.

De acordo com Tavares & Silva, 2008 apud Tominaga, Santoro e Amaral, 2015, planícies e fundos de vales escoam lentamente as águas das chuvas e, oposto a isso, a forte urbanização das cidades tem intensificado este processo devido às alterações antrópicas, como a impermeabilização do solo e retificação de cursos d'água. Mediante isso, com a crescente ocupação destas áreas, problemas relacionados a inundações representam problemas cada vez mais caóticos nas cidades.

Cabe ressaltar a diferença entre inundação e cheia, termo também conhecido, mas muitas vezes associados de maneira incorreta. Antes da inundação, ocorre naturalmente a cheia na bacia hidrográfica em decorrência de uma precipitação, acarretando no aumento da vazão dos rios em função do escoamento superficial, mas sem o transbordamento do mesmo. O termo inundação indica que após o processo de cheia houve o extravasamento do rio de sua calha menor para sua calha maior, também conhecida como área de várzea. A figura 3 ilustra a diferença entre os processos de enchente e inundação.

**FIGURA 3** – Perfil esquemático do processo de enchente e inundação



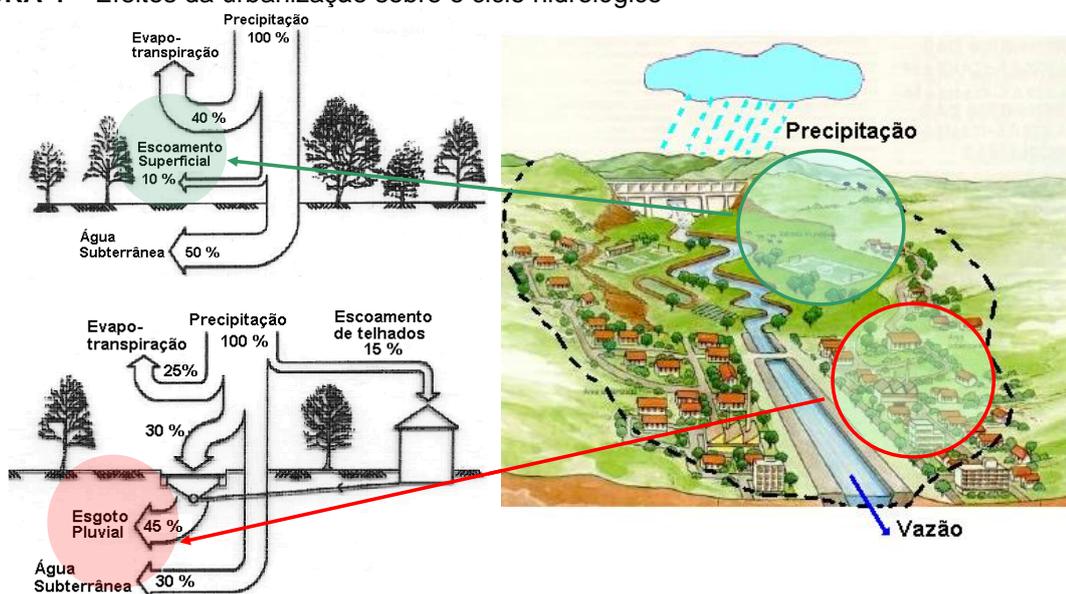
Fonte: Ministério das Cidades, 2015

Relacionando-se também com o tema temos o emprego dos conceitos de alagamento e enxurrada. Conforme Ministério das Cidades (2015, p. 93 e 94), “alagamento é o acúmulo momentâneo de águas em uma dada área decorrente de deficiência do sistema de drenagem” e “enxurrada é o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte”.

Existem diversos fatores que contribuem para a ocorrência de inundações e alagamentos, oriundos tanto de fatores naturais quanto de ações antrópicas. Dentre as ações naturais, podemos citar as formas do relevo, intensidade, duração e frequência das chuvas e a presença ou ausência da cobertura vegetal. Já as ações antrópicas, salientamos a modificação do perfil natural da drenagem dos cursos d’água com a retificação e canalização dos rios e também a forma de uso e ocupação do solo, tanto em relação ao grau de impermeabilização quanto a ocupação das áreas de várzea. (TOMINAGA, SANTORO E AMARAL, 2015).

O ponto crítico da ocupação urbana é que, além da retirada da cobertura vegetal, que ajuda a reter o escoamento superficial, a impermeabilização do solo incrementa o escoamento superficial direto, aumenta a velocidade do escoamento e reduz o tempo de concentração da água, acelerando assim o processo de inundação nas áreas urbanas. Tais ações acarretam à alteração do ciclo hidrológico de uma região, conforme ilustração abaixo:

**FIGURA 4 – Efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico**



Fonte - Philippi Jr et al, 2005

Diante deste cenário, é possível afirmar que as inundações têm feito parte do cotidiano daqueles que vivem nos centros urbanos e tem causado sérios impactos em decorrência destes eventos, dentre eles:

- Prejuízos econômicos ocasionados pela invasão da água à residências, comércios e indústrias, que em muitos casos causam danos estruturais e perdas de bens materiais;
- Perda de vidas causadas por afogamentos;
- Poluição do meio ambiente com o carreamento de contaminantes para dentro dos cursos d'água, em especial aqueles providos dos resíduos sólidos; e
- Doenças de veiculação hídrica como: leptospirose, cólera e hepatite.

### **6.3 Planejamento da Drenagem Urbana**

Pode-se definir planejamento como a atividade voltada a sanar determinados problemas com base em considerações ordenadas, considerando as atividades desde a concepção do projeto até a execução de uma obra, tomando como base o espaço necessário e o horizonte de tempo. (DAEE/CETESB, 1980). Para Philippi Jr et. al. (2005, p. 634) o “planejamento é um processo que permite classificar, compreender problemas, bem como selecionar e implementar ações em prol da otimização de situações, solução de problemas e cumprimento de metas”.

No cerne do meio urbano, é altamente recomendável que o planejamento seja integrado em consonância com todos os dispositivos de melhoramentos. É fundamental, contudo, que o planejamento urbano seja compatível com planos regionais, tanto de nível federal quanto estadual, caso existam. Sobre as esferas de planejamento, Riguetto (2009, p. 52) diz:

A ordenação do espaço urbano se faz por meio da aplicação eficaz das legislações federal, estadual e municipal. Dentre as leis, salienta-se: a Constituição Federal, que define a obrigatoriedade e competências do trato da questão urbana; o Estatuto da Cidade, que veio reforçar o planejamento e gestão deste espaço; e o Plano Diretor Urbano, que é um conjunto de procedimentos, regulamentações e leis que ordenam localmente os espaços urbanos no Brasil. (RIGUETTO, p. 52. 2009).

Para o caso da drenagem urbana, o planejamento das suas ações proporciona custos reduzidos para implantação dos sistemas de drenagem e maior

eficiência no cumprimento de suas funções (DAEE/CETESB, 1980). Uma das grandes conseqüências da situação caótica dos sistemas de drenagem nos municípios é o mau ou falta de planejamento que integre as questões ambientais no desenvolvimento de projetos e a ausência de entidades que façam a gestão de tais sistemas.

Considerando que o gerenciamento da drenagem urbana é realizado pelos municípios e que estes têm como principal instrumento de gestão territorial o Plano Diretor, que estabelece os critérios para uso e ocupação do solo, é primordial que sejam desenvolvidos e incorporados no mesmo os Planos Diretores de Drenagem Urbana (CANHOLI, 2005; DAEE/CETESB 1980). Para Philippi Jr et. al. (2005) o plano diretor de drenagem urbana deve ser concebido à luz do plano diretor urbano, uma vez que este rege os princípios para o uso e ocupação do solo na área urbana, fator estritamente ligado a drenagem urbana.

Os aspectos relacionados à infraestrutura urbana e que são tratados pelo plano diretor urbano, como o sistema de coleta, tratamento e disposição dos resíduos sólidos urbanos, execução de obras subterrâneas e o sistema viário devem considerar os critérios e as obras previstas para o sistema de drenagem.

O plano diretor de drenagem é o instrumento básico que norteia o planejamento do sistema de drenagem e sua existência é de suma importância para a administração pública e comunidade, permitindo conhecer todas as ações que serão executadas e seus respectivos prazos. (PHILIPPI JR ET AL, 2005; DAEE/CETESB 1980).

Uma característica importante a ser considerada na elaboração deste plano é que a drenagem não é um fenômeno local, uma vez que em muitos casos dois ou mais municípios podem possuir conexão hídrica (CANHOLI, 2005; PHILIPPI JR ET AL, 2005). Deve-se entender que a unidade de gerenciamento a ser adotada é a bacia hidrográfica. Tucci (2006) ressalta que a maioria das cidades possuem conexões com outros municípios através das bacias hidrográficas, localizando-se cada uma em uma vertente do mesmo rio (por conseqüência o rio divide os territórios) ou uma a montante da outra. Neste cenário, é fundamental o conhecimento da conexão hídrica entre os municípios e o desenvolvimento de um plano diretor de drenagem para a bacia hidrográfica.

No processo de elaboração do Plano Diretor de Drenagem, deve-se entender que o mesmo tem como objetivo a criação de mecanismos para a gestão

da infraestrutura urbana interligadas com o escoamento das águas pluviais e dos rios da área urbana, visando minimizar perdas econômicas, melhoria da qualidade de vida e preservação do meio ambiente urbano (TUCCI, 2006).

Ainda segundo o autor, os planos diretores de drenagem têm como meta o planejamento e a distribuição das águas pluviais em função do espaço e tempo; o controle e ocupação das áreas de risco de inundação através de regulamentações e desenvolvimento de cenários para convivência em áreas de baixo risco.

Para Plilippi Jr et. al. (2005), os planos diretores devem definir as medidas estruturais e não estruturais dos sistemas de controle de cheias considerando horizontes de tempo, que geralmente dividem-se em medidas de curto, médio e longo prazo. Os planos devem ser implementados e periodicamente revisados para a verificação da situação atual do sistema, as obras executadas e sua eficiência e se os cenários previstos estão em conformidade com o previsto ou se necessitam de ajustes.

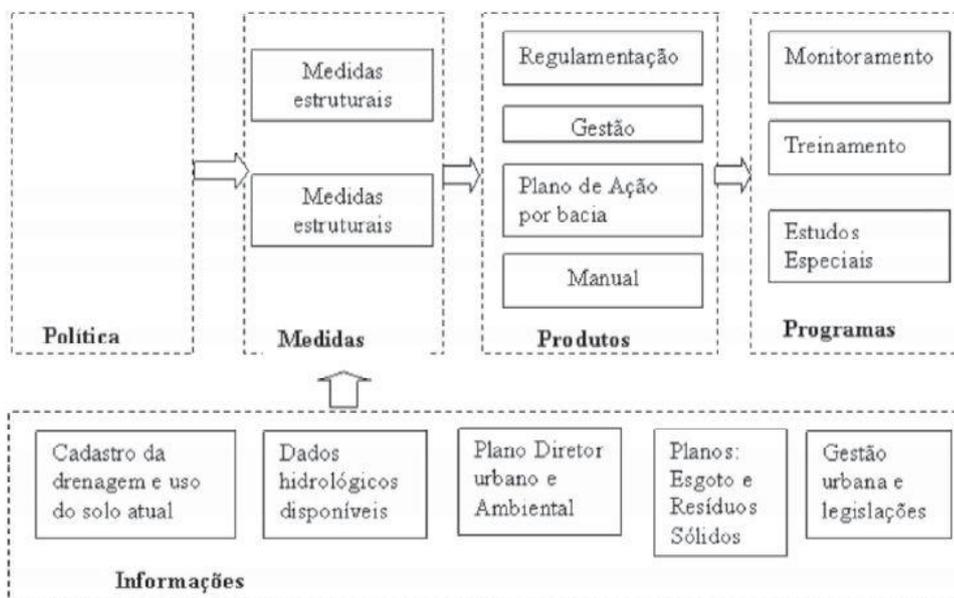
O processo de elaboração de um plano diretor de drenagem não é fixa, considerando que a concepção do mesmo depende da área de abrangência, o nível de detalhamento proposto e o modo que a administração pública local gere o sistema. Como estrutura básica, Philippi Jr et. al. (2005) descreve as seguintes fases para a estruturação de um plano de drenagem:

- **“Definições básicas, coletas de informações e diagnóstico preliminar da situação do sistema de drenagem”**. Nesta etapa são definidas as premissas básicas para o desenvolvimento do plano, com o estabelecimento dos seus objetivos básicos, determinação das áreas de estudo e seus diferentes horizontes de tempo para implantação das medidas propostas. Também é necessário o levantamento de dados básicos, como a informação de uso e ocupação do solo, configuração do sistema viário, informações hidrológicas e hidráulicas, etc.
- **“Proposta de medidas de curto prazo, incluindo monitoramento e demais levantamentos de campo”**. Com o levantamento dos dados básicos é possível elaborar propostas imediatas ou de curto prazo considerando a gravidade da situação diagnosticada, o que em muitos casos, não significa que as ações necessárias exigem a execução de obras, mas sim mecanismos de monitoramento.

- **“Elaboração de cenários e definição de medidas de médio e longo prazo”**. Nesta fase, com a identificação de possíveis cenários de crescimento da cidade e a ocupação da bacia, num horizonte de tempo entre cinco e dez anos, define-se os impactos deste evento na drenagem e propõem-se medidas estruturais e não estruturais necessárias num ciclo de tempo.
- **“Hierarquização das propostas, proposição de medidas de carácter legal e institucional”**. Nesta etapa o plano é implementado e todas as obras e medidas previstas são hierarquizadas segundo os critérios pré-definidos pelo gestor. É fundamental que as medidas previstas no plano sejam transformadas em projetos de lei, para garantir sua implementação pelo poder público.

Sobre a estruturação do plano, Tucci (2006) divide o mesmo em cinco grandes grupos: política de águas pluviais, medidas estruturais e não estruturais, produtos, programas e informações.

**FIGURA 5 – Estrutura do Plano de Drenagem Urbana**



Fonte – Tucci, 2006

## **6.4 Componentes da Drenagem Urbana**

A drenagem urbana é composta por dois sistemas: o Sistema de Micro-drenagem ou drenagem inicial e o Sistema de Macrodrenagem, as descrições destes sistemas serão abordadas a seguir.

### **6.4.1 Sistema de micro-drenagem ou drenagem inicial**

O Sistema de micro-drenagem ou drenagem inicial é compreendido pelas ruas pavimentadas, guias e sarjetas, bocas de lobo e galerias pluviais (DAEE/CETESB, 1980). Para Tucci (2006):

A microdrenagem é definida pelo sistema de condutos pluviais ou canais em nível de loteamento ou de rede primária urbana. Esse tipo de sistema de drenagem é projetado para atender à drenagem de precipitações com risco moderado. (TUCCI, 2006, p. 181).

Usualmente, este sistema é projetado considerando períodos de retorno que variam ente 2 e 10 anos, estando assim passíveis a inundações locais para eventos hidrológicos com intensidade superior ao considerado em projeto. A seguir serão descritos os componentes do sistema de drenagem inicial ou micro-drenagem.

#### **6.4.1.1 Ruas, guias e sarjetas**

As ruas, mesmo tendo como finalidade principal o uso para tráfego de veículos e pedestres, desempenham importante papel na drenagem. Através dela, parte do escoamento superficial é destinado para as sarjetas e, subsequente às bocas de lobo. Um projeto bem executado do sistema viário pode reduzir os custos do sistema de drenagem e, em determinadas situações, a necessidade de construção de galerias pluviais.

As sarjetas são canais triangulares longitudinais cuja função é captar e conduzir o escoamento superficial do pavimento da via pública às bocas de lobo, sendo complementadas pelas guias, que são peças de

concreto pré-moldado cuja finalidade é separar a faixa pavimentada do passeio, como pode ser observado na figura 6.

**FIGURA 6 –** Rua pavimentada, guias e sarjetas



Disponível em : <<http://www.bertioga.sp.gov.br/noticias/ruas-ja-recebem-sinalizacao-viaria-e-mais-onze-estao-prontas-para-a-pavimentacao/>> Acesso em 15 mar. 2019

#### **6.4.1.2 Bocas de lobo**

Define-se bocas de lobo as caixas de concreto ou alvenaria inseridas nas sarjetas, com aberturas que possibilitam a captação da água pluvial que nelas escoam para seu interior, transferindo-a posteriormente para as galerias pluviais.

As bocas de lobo geralmente são posicionadas ao longo das sarjetas e próximas aos cruzamentos das ruas, considerando que são implantadas em função da vazão afluyente sobre as sarjetas exceder sua capacidade de escoamento e em decorrência disto causar possíveis transtornos no trânsito (DAEE, 1980).

Quanto ao seu tipo, segundo DAEE/CETESB (1980) classificam-se em:

**a) Boca de lobo simples:** Constituída por uma abertura vertical na guia possibilitando o acesso da água que escoam pela sarjeta ao seu interior. Tem como vantagem a grande abertura que dificulta a obstrução ocasionada por detritos.

**FIGURA 7 – Boca de lobo simples**



Fonte – O autor

**b) Boca de lobo com grelhas:** Constituída por barras metálicas dispostas para cobrir suas aberturas, podendo estas barras serem posicionadas longitudinais ou transversais ao sentido do fluxo do escoamento. A principal desvantagem deste sistema é a obstrução da entrada pelo acúmulo de detritos carreados pelas enxurradas, que quando ocorrem, praticamente as inativam.

**FIGURA 8 – Boca de lobo com grelhas**



Fonte – O autor

**c) Boca de lobo combinada:** É a combinação da boca de lobo simples com a colocação de grelhas. Neste tipo de boca de lobo, a abertura junto a guia tem

pouca influência na capacidade de engolimento da água, só sendo eficiente em caso de obstrução das grelhas;

**FIGURA 9 – Boca de lobo combinada**



Fonte – O autor

- d) Boca de lobo múltipla:** Formadas por duas ou mais bocas de lobo instaladas em série, podendo ser executadas em qualquer uma das situações descritas anteriormente. Todas as peculiaridades citadas nos outros tipos também se enquadram nas bocas de lobo múltiplas.

**FIGURA 10 – Boca de lobo múltipla**



Fonte – O autor

### 6.4.1.3 Tubos de conexão

Constituído pelos condutos que escoam as águas pluviais captadas pelas bocas de lobo aos poços de visita ou caixas de ligação. O dimensionamento deve ser bem projetado pois mesmo com o a execução correta das bocas de lobo e galerias, se os tubos não possuírem capacidade de engolimento, as bocas de lobo trabalharão afogadas e como consequência terão menos capacidade para descarga da vazão afluente a elas. (DAEE/CETESB, 1980).

**FIGURA 11** – Boca de lobo com tubos de conexão



Fonte – O autor

### 6.4.1.4 Poços de visita

Poço de visita é a caixa de alvenaria ou de concreto pré-moldado responsável por unir dois segmentos consecutivos de uma galeria pluvial (DAEE/CETESB, 1980). Para Botelho (1984), a função do poço de visita é permitir o acesso de funcionários às instalações ou a utilização de equipamentos para a realização de inspeções ou limpezas das galerias pluviais. Os poços de visita também são instalados quando são necessárias mudanças de direções nas tubulações das galerias pluviais, que necessitam possuir traçados retos (GRIBBIN, 2009).

**Figura 12 – Acesso ao poço de visita**



Fonte – O autor

#### **6.4.1.5 Galerias pluviais**

De acordo com DAEE/CETESB (1980), galeria pluvial é o conduto cuja finalidade é o transporte da água pluvial captada até o local de despejo. Também entendida como Sistema de Galerias Pluviais, é designado tal termo para se referir as bocas de lobo, tubos de conexão, poços de visita e galerias pluviais, responsáveis pela captação e transporte da água pluvial até o ponto de lançamento. Já Gribbin (2009) define como galerias pluviais as tubulações enterradas cuja finalidade é o transporte, de maneira segura, das águas de chuva das áreas urbanizadas até seu lançamento em córregos, rios e lagos.

Dentre diversos fatores que influenciam no projeto de uma galeria pluvial cita-se a escolha do diâmetro a ser utilizado. Esta escolha deve ser considerada em função dos estudos hidrológicos efetuados para a determinação da vazão de projeto. Dentro deste estudo são definidas as frequências das chuvas de projetos ou período de retorno. Conforme DAEE/CETESB (1980) os períodos de retorno ou frequência das chuvas utilizadas para projeto de galerias pluviais e em função do tipo de ocupação local são discriminados na tabela 1.

**Tabela 1** – Frequência das chuvas de projeto para galerias pluviais

TIPO DE OCUPAÇÃO	PERÍODO DE RETORNO USUAL
Residencial	2 anos
Áreas comerciais	5 anos
Áreas com edifícios públicos	5 anos
Aeroportos	2 – 5 anos
Áreas comerciais altamente valorizadas e terminais aeroportuários	5 – 10 anos
Microdrenagem - dispositivos de drenagem superficial, galerias de águas pluviais	10 anos

Fonte – DAEE/CETESB, 1980; Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2010

**Figura 13** – Execução de galeria de águas pluviais

Fonte – O autor

#### 6.4.1.6 Dissipadores de energia

Conforme Lancaster (1983) apud Tomaz (2011, pg. 469) a dissipação de energia é “uma transformação de parte da energia mecânica da água em energia de turbulência e, no final, em calor por efeito do atrito interno do escoamento e atrito deste com as fronteiras”. No caso das galerias pluviais, os dissipadores de energia são instalados para reduzir à velocidade com que a água dos condutos é lançada nos canais naturais, diminuindo os problemas de erosão a jusante (DAEE/CETESB, 1980). Uma das estruturas mais comuns utilizadas para dissipação de energia em galerias pluviais é denominada “Degrau”.

**Figura 14 – Dissipação de energia tipo “Degrau”**



Fonte – O autor

#### **6.4.1.7 Macrodrenagem**

A Macrodrenagem ou Sistema de Macrodrenagem compõe parte do sistema urbano de drenagem e tem como função afastar as águas do escoamento superficial resultantes de uma chuva intensa e é composto por, além do sistema de drenagem inicial, canais e grandes galerias (DAEE/CETESB, 1980). Para Philippi Jr et. al. (2005), a macrodrenagem é constituída por um sistema de canais naturais e/ou artificiais, galerias de grandes dimensões e rios que captam toda água afluyente sobre a micro-drenagem.

**Figura 15 – Canal revestido de concreto com despejo de vazão de galeria pluvial**



Fonte - O autor

Pode-se dizer que a macrodrenagem é um conjunto independente dos demais sistemas, apesar de possuir relação direta com o sistema inicial de drenagem ou micro-drenagem, sendo que os possíveis projetos devem ser elaborados em conjunto em função da área analisada.

O mais conhecido componente da macrodrenagem são os canais, que possuem vantagens em relação aos custos de implantação e capacidade de escoamento de vazão, de acordo com DAEE/CETESB (1980), os canais são escolhidos em função dos impactos sociais e critérios básicos de projeto, sendo divididos nos seguintes tipos:

- **Canais Revestidos de Concreto:** São canais revestidos de concreto devido a falta de espaço para implantação. Tal característica permite velocidades maiores e conseqüente aumento da capacidade de vazão;
- **Canais Artificiais Gramados:** Canais artificiais com utilização de gramado para seu revestimento. A vantagem da execução deste tipo de canal é a baixa velocidade da água no seu interior, sua característica paisagística e baixo custo de implantação.

## 7 MÉTODOS CHUVA X VAZÃO

Os estudos hidrológicos para o planejamento, projeto e construção dos sistemas de drenagem são essenciais para garantir que os mesmos sejam corretamente dimensionados e com isso cumpram a sua função. (DAEE/CETESB, 1980).

De acordo com Fendrich et. al. (1997), estudos hidrológicos são desenvolvidos em função de diversos problemas de engenharia intrínsecos ao dimensionamento de obras hidráulicas, gerenciamento dos recursos hídricos e sistemas resultantes. Conforme Canholi (2005), para os estudos hidrológicos ligados a drenagem urbana são adotados modelos matemáticos do tipo chuva x vazão para determinação dos hidrogramas de projeto, considerando que as informações de dados fluviométricos para análises estatísticas de cheias são escassas.

Para transformar uma chuva efetiva em vazão podem-se utilizar diversas ferramentas de engenharia hidrológica, sendo uma delas o conceito do hidrograma unitário, que sintetiza a vazão da bacia para uma determinada chuva efetiva (Miguez, Veról & Rezende, 2016). Para os autores estes hidrogramas podem

ser obtidos através de medições simultâneas de chuvas e vazão, porém, com as dificuldades para obtenção das informações são adotados para determinação da chuva efetiva em vazão os “hidrogramas sintéticos”. Tais hidrogramas são concebidos com base em informações físicas da bacia e adotando-se hipóteses simplificadas.

Em consonância com o exposto, Canholi (2005) ao citar a utilização de métodos em razão da carência de informações hidrométricas disponíveis, diz que para as bacias urbanizadas tais métodos também são válidos uma vez que no processo de planejamento urbano é exigido o prévio conhecimento do uso e ocupação do solo e sua conseqüente alteração do escoamento superficial, o que justifica a utilização de métodos com a simulação de modelos (vazões).

Existem diversos métodos desenvolvidos para análise do escoamento superficial, destacando-se entre eles o Método Racional. Tal método é difundido em projetos de galerias de águas pluviais devido a sua praticidade, tendo sua aplicação mais conveniente para bacias de até 1 km<sup>2</sup> (DAEE/CETESB, 1980; FENDRICH, 1997; CANHOLI, 2005; MIGUEZ, VERÓL & REZENDE, 2016).

### **7.1 Método Racional**

Desenvolvido na Inglaterra em 1889, o Método Racional é difundido em diversos países por ser de fácil aplicação e compreensão quando utilizado para determinação da vazão de pico (DAEE/CETESB, 1980; GRIBBIN, 2009). A aplicação adequada deste método permite a obtenção de resultados satisfatórios em projetos de drenagem urbana (DAEE/CETESB, 1980).

Conforme DAEE/CETESB (1980, pg. 144), o Método Racional tem como premissas básicas:

1. O pico do deflúvio superficial direto, relativo a um dado ponto de projeto, é a função do tempo de concentração respectivo, assim como da intensidade da chuva, cuja duração é suposta como sendo igual ao tempo de concentração em questão.
2. As condições de permeabilidade das superfícies permanecem constantes durante a ocorrência da chuva.
3. O pico do deflúvio superficial direto ocorre quando toda a área de drenagem, a montante do ponto de projeto, passa a contribuir no escoamento. (DAEE/CDETESB, 1980. P. 144).

O Método Racional pode ser descrito sob a seguinte forma (DAEE/CETESB, 1980; DAEE, 2006):

$$Q = 166,67 \cdot C \cdot i \cdot AD$$

Onde:

**Q** = vazão de enchente (m<sup>3</sup>/s).

**C** = coeficiente de escoamento superficial (runoff).

**i** = intensidade de precipitação (mm/min).

**AD** = área de drenagem (há).

### 7.1.1 Coeficiente de escoamento superficial (*runoff*)

Tem-se como um dos princípios do Método Racional a adoção de um coeficiente único (C) ou *runoff*, estimando-o em função das características da bacia quanto ao seu grau de impermeabilização ou urbanização. Com isto, considera-se que quanto maior o grau de impermeabilização do solo menor será sua capacidade para infiltrar a água da chuva, e, por consequência, maior será o escoamento superficial direto (DAEE, 2006). A tabela a seguir apresenta valores recomendados para adoção do coeficiente C ou runoff.

**Tabela 2** – Valores recomendados para o coeficiente C ou runoff

USO DO SOLO OU GRAU DE URBANIZAÇÃO	VALORES DE C	
	MÍNIMOS	MÁXIMOS
Área totalmente urbanizada	0,50	1,00
Área parcialmente urbanizada	0,35	0,50
Área predominantemente de plantações, pastos, etc.	0,20	0,35

Fonte – DAEE, 2006.

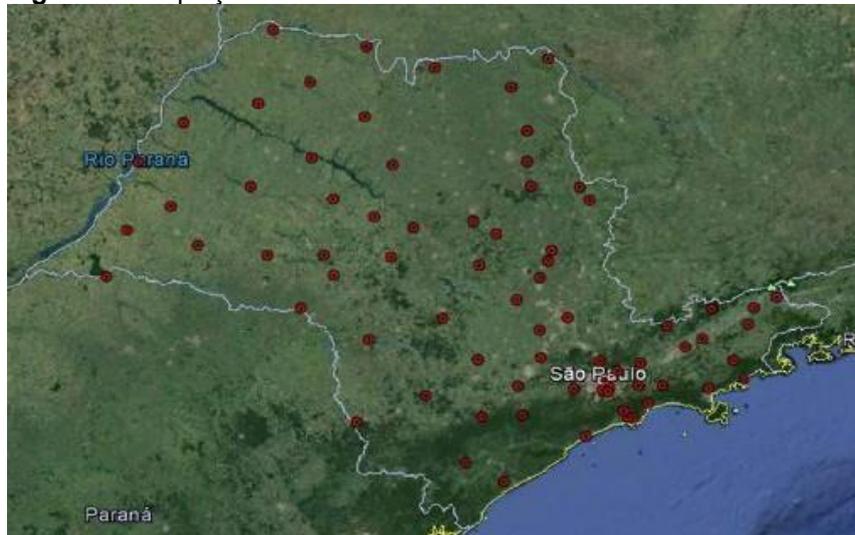
É relevante o projetista, ao adotar os coeficientes propostos, considerar cenários que prevejam os efeitos da urbanização na bacia num determinado horizonte de projeto, desenvolvendo assim projetos de obras hidráulicas que cumpram sua função mediante esse processo de ocupação crescente do solo e o consequente aumento do escoamento superficial (FRENDRICH ET AL, 1997).

### 7.1.2 Intensidade da precipitação

Através de análises estatísticas de séries históricas de dados pluviométricos de uma determinada região, é possível estimar a intensidade de precipitação desejada. Com a obtenção de séries históricas longas, pode-se considerar frequência como probabilidade, determinando assim as “Curvas I-D-F”, que indicam as três características fundamentais das chuvas: intensidade, duração e frequência (DAEE, 2006). As curvas I-D-F também podem ser expressas através de equações e tabelas e são válidas para utilização de obras localizadas em seu entorno.

No Estado de São Paulo, o DAEE/CTH publica desde 1999 o estudo denominado “Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo”, considerando as informações constantes da sua rede de postos pluviométricos. Atualmente estão disponíveis 75 equações de chuvas intensas no Estado de São Paulo (MARTINEZ JUNIOR, 2018), conforme figura abaixo.

**Figura 16** - Equações de Chuvas Intensas no Estado de São Paulo



Fonte – Martinez Jr., 2018.

Para exemplificação e considerando as Precipitações Intensas no Estado de São Paulo, apresentamos uma das equações de chuva desenvolvidas pelo estudo, com base nas informações da Estação Laranja Doce – D8-041/DAEE, Município de Martinópolis (MARTINEZ JR., 2018):

$$i_{t,T} = 41,59 (t + 30)^{-0,8905} + 25,90 (t + 50)^{-1,002} \cdot [-0,4810 - 0,8920 \ln \ln(T/T-1)]$$

Onde:

$i$  = intensidade da chuva, para duração  $t$  e período de retorno  $T$ , em mm/mm

$t$  = duração da chuva (min).

$T$  = período de retorno (anos).

### 7.1.3 Duração da chuva e tempo de concentração

Para o Método racional adota-se a duração da precipitação intensa igual ao tempo de concentração da bacia. Sob esta ótica, considera-se que a bacia é pequena o suficiente para o acontecimento de tal situação (DAEE, 2006).

Já o tempo de concentração é definido como o tempo necessário para que uma gota de chuva, ao precipitar na bacia, possa se deslocar até o ponto de estudo da bacia (DAEE/CETESB, 1980).

Para a determinação do tempo de concentração, é recomendada a utilização da equação denominada “Califórnia Culverts Practice” (TUCCI, 2003 apud DAEE, 2006):

$$T_c = 57 \cdot (L^3/\Delta h)^{0,385}$$

Onde:

$T_c$  = tempo de concentração (min)

$L$  = comprimento do talvegue do curso d’água (km)

$\Delta h$  = desnível do talvegue entre a seção e o ponto mais distante da bacia (m)

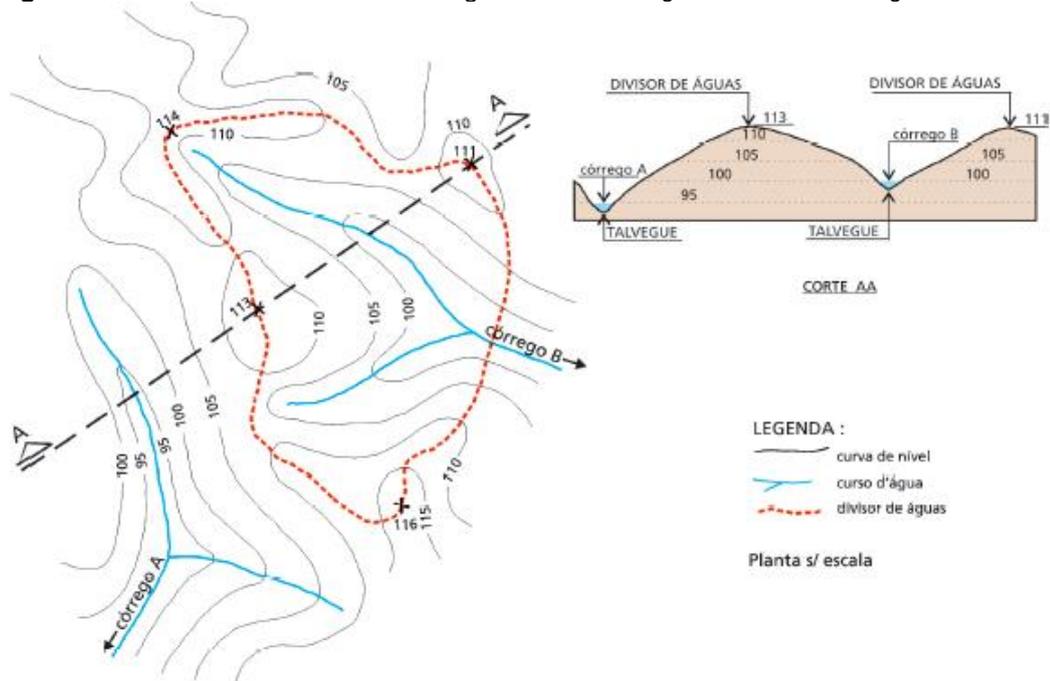
Como definição, talvegue é o ponto mais baixo da bacia por onde escoam as águas superficiais.

### 7.1.4 Área de drenagem

Conforme DAEE (2006, pg. 12) “área da bacia hidrográfica, ou área de contribuição, é a região de captação natural de água de precipitação que faz convergir os escoamentos superficiais e subterrâneos para um único ponto de

saída”. A área de drenagem é comumente expressa em quilômetros quadrados (km<sup>2</sup>) ou hectares (há). As bacias hidrográficas possuem linhas de divisores de águas que definem a separação das águas em vertentes e podem ser determinadas através de cartas topográficas, conforme figura abaixo:

**Figura 17** – Relevo de uma bacia hidrográfica com talvegues e divisores de água



Fonte – DAEE, 2006

## 8 ANÁLISE DE RISCO EM OBRAS HIDRÁULICAS

Quando pensamos na execução de uma obra devemos entender, dentro de diversos fatores, quais os riscos associados a ela ou quais suas chances de falharem. Como exemplificação de risco, Fusaro (2011) cita que o mesmo se trata de um indicador de segurança e necessariamente um fator de decisão. Com relação a risco, Zonensein (2007) apud Miguez, Veróz e Resende (2016) conceitua:

No âmbito da estatística, o risco costuma ser usado como sinônimo da probabilidade de um evento indesejável. Do ponto de vista econômico, o risco é entendido como a variabilidade ou volatilidade inesperada do retorno financeiro, ou como a possibilidade de um investimento perder seu valor. No campo da engenharia, o risco está relacionado tanto à probabilidade de ocorrência de um evento, quanto à expectativa de perdas causadas por ele. (MIGUEZ, VERÓL E RESENDE. 2016. p 192).

No caso de projetos de obras hidráulicas, o risco inerente é aquele ligado as chuvas.

Os sistemas de drenagem são concebidos para escoarem a vazão proveniente das chuvas, sendo que a ocorrência deste evento é natural porém de maneira aleatória (PHILIPPI JR. ET AL, 2005). No processo de elaboração de projetos de drenagem, os engenheiros utilizam-se de dados estatísticos e métodos para determinar uma vazão de projeto para o dimensionamento de todos os elementos do sistema.

Garcez (1974) salienta que durante a elaboração de um determinado projeto de drenagem, é preciso ter em mente que os resultados obtidos em um estudo hidrológico apresentam valores probabilísticos, sendo esta a função real do estudo, a predição de possíveis cenários. De acordo com Riguetto (1998) apud DAEE (2016) a probabilidade da ocorrência de um evento hidrológico extremo que ocasionem enchentes ou longos períodos de estiagem são parâmetros essenciais na avaliação e projetos de obras hidráulicas, entre elas as galerias pluviais.

Um fator de risco que é associado a projetos hidráulicos é o período de retorno (T) ou tempo de recorrência, cuja unidade de medida é dada em anos. Para DAEE (2006) define-se período de retorno como:

[...] risco a ser assumido no dimensionamento de uma obra hidráulica. Vincula à obra ou empreendimento o grau de segurança que se deseja proporcionar, refletindo a frequência com que a chuva ou vazão utilizada no dimensionamento venha a ser igualada ou ultrapassada num ano qualquer. (DAEE, 2006. p. 19).

A adoção do período de retorno tem impacto direto no dimensionamento das obras hidráulicas, uma vez que quanto maior for o valor adotado mais cara a obra será. Isto se dá pelo fato de um período de retorno maior gerar vazões maiores e conseqüentemente as estruturas para escoamento destas cheias serem maiores (PHILIPPI JR ET AL, 2005).

Mesmo com custos elevados adotando-se períodos de retorno maiores, para Miguez, Veróz e Resende (2016), tal fator proporcionará projetos com maior segurança, sendo que deve ser ponderado pelo responsável pelo projeto a segurança desejada e os custos para implantação. Segundo Phillipi Jr. et. al. (2005), todos esses critérios devem ser definidos pelo ente responsável pelo projeto, execução e gestão do sistema de drenagem que, em suma, é de responsabilidade do poder público.

Deve-se entender quais os riscos associados a obras de drenagem pelos danos evitados sob a ótica social, econômica e ambiental. Os impactos econômicos são mensurados em relação aos custos ocasionados pela ocorrência de uma inundação e seus respectivos danos gerados, em contraponto aos impactos sociais e ambientais, que apesar de considerarem os impactos na saúde pública através de doenças de veiculação hídrica e ao meio ambiente, pela poluição de recursos hídricos, acarretam em custos intangíveis, que são aqueles de difícil mensuração (PHILIPPI JR et. al., 2005). Ainda segundo o autor, apesar das dificuldades, é possível desenvolver obras e/ou projetos de drenagem que compatibilizem os custos e recursos disponíveis, os riscos associados e os benefícios sociais, econômicos e ambientais desejados.

### **8.1 Período de Retorno**

Conforme descrito anteriormente, no dimensionamento de uma obra hidráulica é utilizado o período de retorno para associar o grau de segurança que se deseja conferir e por consequência quais as características que tais obras possuirão para atender a vazão projetada e minimizar os possíveis danos a ela relacionados.

O período de retorno é o termo utilizado para definir qual o período de tempo para que uma determinada chuva possa ser igualada ou ultrapassada, pelo menos uma vez, durante o período adotado. A título simples de exemplificação, caso um projetista adote um período de retorno de 10 (dez) anos para uma determinada obra, ele está considerando que durante este período, a intensidade de determinada chuva é igualada ou superada apenas 01 (uma) vez a cada 10 anos.

Para DAEE (2016) o período de retorno também é definido como “o inverso da probabilidade de ocorrência de um determinado evento em um ano qualquer”. Contextualizando esta afirmação, DAEE (2016) utiliza o seguinte exemplo:

[...] se a chuva de 130 mm em um dia é igualada ou superada apenas 1 vez a cada 10 anos diz-se que seu tempo de retorno é de 10 anos, e que a probabilidade de acontecer um dia com chuva igual ou superior a 130 mm em um ano qualquer é de 10% (DAEE, 2016, pg. 33).

Para a afirmação acima é utilizada a seguinte equação (DAEE, 2016; MIGUEZ, VERÓL E RESENDE, 2016):

$$Tr = 1/P$$

Onde:

**Tr** = tempo de retorno (em anos)

**P** = probabilidade

Utilizando-se da equação acima com o exemplo proposto, adotando 10 anos de período de retorno para uma chuva de 130 mm por dia, afere-se a probabilidade de 10% da seguinte forma:

$$Tr = 1/P$$

$$10 = 1/P$$

$$P = 1/10 = 0,10 \text{ ou } 10\%$$

Para sistemas de drenagem urbana, a experiência adquirida ao longo do tempo pelos projetistas permitiu estabelecer períodos de retorno conforme critérios de risco a cada qual componente do sistema está sujeito, analisando também os impactos econômicos para execução das obras e os riscos financeiros oriundos dos impactos causados pelos eventos hidrológicos (PHIIPPI JR ET AL, 2005). A tabela abaixo apresenta valores recomendados para adoção de períodos de retorno em sistemas de drenagem (DAEE, 1994; MIGUEZ, VERÓL E RESENDE, 2016):

**Tabela 3 – Períodos de retorno em sistemas de drenagem**

<b>CARACTERÍSTICA DO SISTEMA</b>		
<b>Microdrenagem</b>	<b>Tipo de Uso e Ocupação</b>	<b>TR (ANOS)</b>
Galerias e ruas	Residencial	2
	Comercial, Edifícios Públicos	5
	Comercial, alta valorização	10
Grandes corredores de tráfego		100
Áreas com localização de edificações estratégicas (hospitais, bombeiros)		500
<b>CARACTERÍSTICA DO SISTEMA</b>		
<b>Macro drenagem</b>	<b>Tipo de Material</b>	<b>TR (ANOS)</b>
Canais a céu aberto	Terra, gabião, rachão	50
	Concreto	100
Pontes e Bueiros	Concreto	100

Fonte – DAEE, 1994; Miguez, Veról e Resende, 2016.

Com a adoção do período de retorno, também é possível avaliar qual a probabilidade da ocorrência de um determinado evento hidrológico ocorrer em função da vida útil da obra. Para tanto, é possível esta verificação com a utilização da equação descrita a seguir, conforme proposto por DAEE, 1994; Tomaz, 2011; Miguez, Veról e Resende, 2011:

$$R = 1 - ((1 - (1/T))^n)$$

Onde:

**R** = risco de projeto

**T** = período de retorno

**n** = vida útil da obra

Propõe-se como exemplo de aplicação desta equação a probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico com período de retorno de 10 anos em uma obra de drenagem urbana e as suas chances de falharem durante a sua vida útil, que geralmente é estimada em 20 anos (MIGUEZ, VERÓL E RESENDE, 2016):

$$R = 1 - ((1 - (1/10))^{20})$$

**R = 0,88 ou 88%**

Também é possível verificar a informação através de dados tabulados considerando determinados períodos de retorno e horizonte/vida útil de projeto, conforme segue:

**Tabela 4** – Probabilidade da ocorrência de um evento hidrológico em função de T e vida útil

PERÍODO DE RETORNO (T) EM ANOS	VIDA ÚTIL DA OBRA (ANOS)							
	05	10	15	20	25	50	75	100
05	0,672	0,892	0,964	0,988	0,996	-	-	-
10	0,410	0,651	0,794	0,878	0,928	0,955	-	-
15	0,292	0,498	0,646	0,748	0,822	0,968	0,994	-
20	0,266	0,402	0,537	0,642	0,723	0,923	0,979	0,995
25	0,185	0,366	0,458	0,558	0,640	0,870	0,954	0,983
50	0,096	0,183	0,262	0,332	0,396	0,636	0,701	0,868
75	0,063	0,122	0,178	0,230	0,278	0,480	0,635	0,730
100	0,049	0,096	0,140	0,181	0,222	0,395	0,549	0,634
200	0,025	0,049	0,073	0,095	0,118	0,222	0,314	0,394
500	0,009	0,020	0,030	0,039	0,049	0,095	0,140	0,181

Fonte – DAEE, 1994.

Apesar de valores recomendados para utilização do período de retorno conforme as características citadas e a possibilidade dos sistemas projetados falharem durante sua vida útil é necessário entender que os adventos da mudança climática, mesmo que ainda muito debatida entre os cientistas e sem consenso sobre sua ocorrência e impactos, atualmente é recomendável que períodos de retorno diferentes dos propostos possam ser avaliados pelos projetistas e os custos preconizados pelos gestores (PHILIPPI JR et. al., 2005).

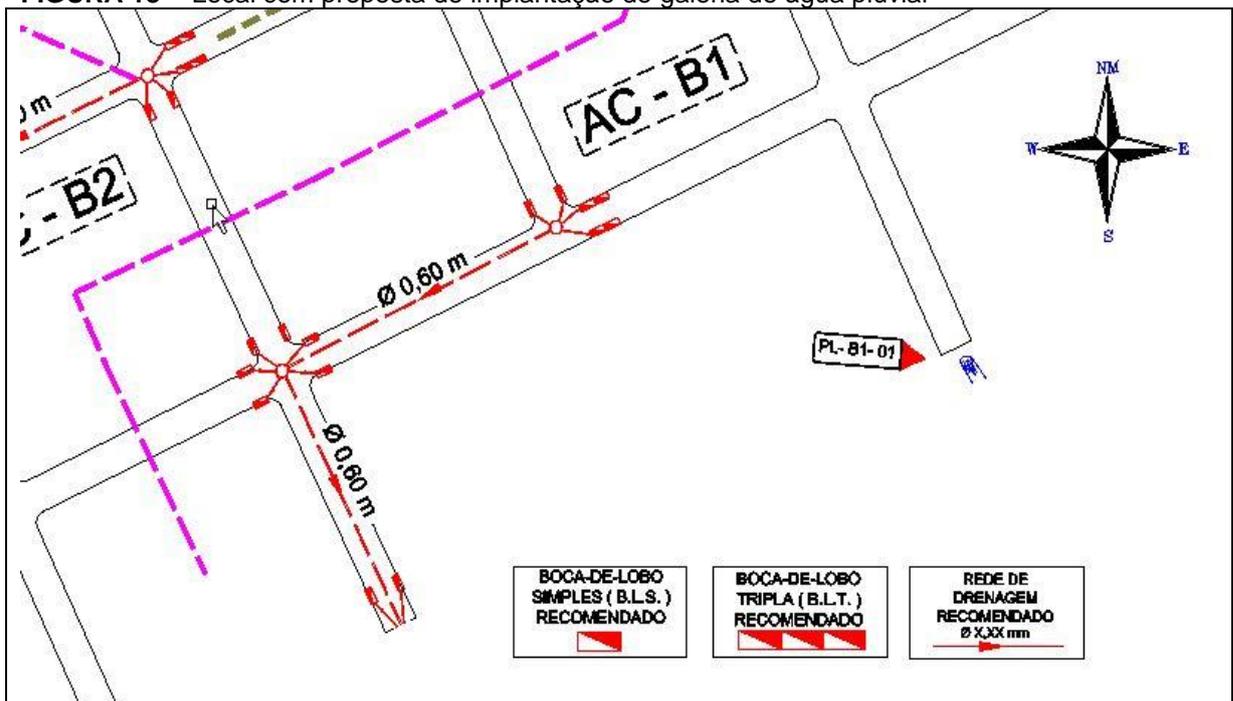
## 9 RESULTADOS

### 9.1 Do orçamento da obra

Para a realização do orçamento da obra e a comparação entre os preços finais com diâmetros diferentes, foi selecionado no Plano Diretor de Macrodrenagem Urbana do município estudado um local com proposta para implantação de galeria de águas pluviais.

Foi selecionado para o estudo a implantação de uma galeria de água pluvial com 200 (duzentos) metros de comprimento e diâmetro de 0,60 metros (Figura 18), conforme proposto no Plano de Macrodrenagem.

**FIGURA 18** - Local com proposta de implantação de galeria de água pluvial



Fonte – Plano de Macrodrenagem do município

Consta também no Plano de Macrodrenagem do município o orçamento para execução desta galeria, realizada à época com base no Boletim Referencial de Custos – Tabela de Serviços - Versão 159 – Vigência: 24/10/12 da Companhia Paulista de Obras e Serviços (CPOS).

Para atualização do custo de implantação da galeria estudada, utilizou-se o Boletim Referencial de Custos – Tabela de Serviços - Versão 175 – Vigência: 01/03/19 da Companhia Paulista de Obras e Serviços (CPOS).

A tabela 5 apresenta os valores para implantação do sistema de drenagem do local de estudo, considerando as características propostas para implantação de tubulação de Ø 0,60 m.

**Tabela 5 – Orçamento da obra com tubulação de Ø 0,60 m.**

Item	Descrição	Tabela/Fonte	Código	Unid.	Quant.	Valor Unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
<b>1.0</b>	<b>Serviços Preliminares</b>						
1.1	Construção provisória em madeira (fornecimento e montagem)	CPOS nº 175	0201021	m <sup>2</sup>	12,00	288,34	<b>3.460,08</b>
1.2	Locação da rede de canalização	CPOS nº 175	021004	m	200,00	0,91	<b>182,00</b>
1.3	Placa de identificação para a obra	CPOS nº 175	020802	m <sup>2</sup>	6,00	382,25	<b>2.293,50</b>
<b>2.0</b>	<b>Movimentação de Terra</b>						
2.1	Escavação mecanizada de valas ou cavas com altura até 3,00 m	CPOS nº 175	070204	m <sup>3</sup>	900,00	7,54	<b>6.786,00</b>
2.2	Aterro compactado de valas GC > 95% PN	CPOS nº 175	071104	m <sup>3</sup>	843,48	13,70	<b>11.555,68</b>
2.3	Carga e remoção de terra até a distância média de 1,0 km	CPOS nº 175	070112	m <sup>3</sup>	56,52	8,12	<b>459,02</b>
<b>3.0</b>	<b>Fornecimento e assentamento da tubulação</b>						
3.1	Tubo de concreto (PA-2) DN= 400 mm	CPOS nº 175	461227	m	32,00	63,48	<b>2.031,36</b>
3.2	Assentamento de tubo de concreto DN=400 mm	CPOS nº 175	461227	m	32,00	28,02	<b>896,64</b>
3.3	Tubo de concreto (PA-2) DN= 600 mm	CPOS nº 175	461215	m	200,00	105,11	<b>21.022,00</b>
3.4	Assentamento de tubo de concreto DN=600 mm	CPOS nº 175	461215	m	200,00	39,38	<b>7.876,00</b>
<b>4.0</b>	<b>Infraestrutura</b>						
4.1	Execução de poço de visita com chaminé	CPOS nº 175	491211 e 491212	unid.	2,00	4.450,12	<b>8.900,24</b>
4.3	Execução de boca-de-lobo simples com tampa de concreto (tipo PMSP)	CPOS nº 175	491201	unid.	10,00	2.210,91	<b>22.109,10</b>
4.4	Execução de boca-de-lobo dupla com tampa de concreto (tipo PMSP)	CPOS nº 175	491203	unid.	2,00	3.580,62	<b>7.161,24</b>
4.5	Tampão em ferro fundido (600 mm)	CPOS nº 175	490642	unid.	2,00	337,64	<b>675,28</b>
						<b>Total:</b>	<b>95.408,06</b>

Conforme indicado na tabela acima, para a implantação de 200 (duzentos) metros de galeria de água pluvial com tubulação de Ø 0,60 m, o custo total estimado é de R\$ 95.408,06 (noventa e cinco mil, quatrocentos e oito reais e seis centavos).

Para comparar o custo de implantação da galeria pluvial com a utilização da tubulação de Ø 0,80 m, atualizou-se a tabela 5 adotando os custos relativos à dimensão da tubulação ora em análise, sendo os mesmos apresentados na tabela 6.

**Tabela 6 – Orçamento da Obra com tubulação de Ø 0,80 m.**

Item	Descrição	Tabela/Fonte	Código	Unid.	Quant.	Valor Unitário (R\$)	Subtotal (R\$)
<b>1.0</b>	<b>Serviços Preliminares</b>						
1.1	Construção provisória em madeira (fornecimento e montagem)	CPOS nº 175	0201021	m²	12,00	288,34	<b>3.460,08</b>
1.2	Locação da rede de canalização	CPOS nº 175	021004	m	200,00	0,91	<b>182,00</b>
1.3	Placa de identificação para a obra	CPOS nº 175	020802	m²	6,00	382,25	<b>2.293,50</b>
<b>2.0</b>	<b>Movimentação de Terra</b>						
2.1	Escavação mecanizada de valas ou cavas com altura até 3,00 m	CPOS nº 175	070204	m³	900,00	7,54	<b>6.786,00</b>
2.2	Aterro compactado de valas GC > 95% PN	CPOS nº 175	071104	m³	799,47	13,70	<b>10.952,74</b>
2.3	Carga e remoção de terra até a distância média de 1,0 km	CPOS nº 175	070112	m³	100,53	8,12	<b>816,30</b>
<b>3.0</b>	<b>Fornecimento e assentamento da tubulação</b>						
3.1	Tubo de concreto (PA-2) DN= 400 mm	CPOS nº 175	461227	m	32,00	63,48	<b>2.031,36</b>
3.2	Assentamento de tubo de concreto DN=400 mm	CPOS nº 175	461227	m	32,00	28,02	<b>896,64</b>
3.3	Tubo de concreto (PA-2) DN= 800 mm	CPOS nº 175	461216	m	200,00	184,12	<b>36.824,00</b>
3.3	Tubo de concreto (PA-2) DN= 800 mm	CPOS nº 175	461216	m	200,00	50,74	<b>10.148,00</b>
<b>4.0</b>	<b>Infraestrutura</b>						
4.1	Execução de poço de visita com chaminé	CPOS nº 175	491211 e 491212	unid.	2,00	4.450,12	<b>8.900,24</b>
4.3	Execução de boca-de-lobo simples com tampa de concreto (tipo PMSP)	CPOS nº 175	491201	unid.	10,00	2.210,91	<b>22.109,10</b>
4.4	Execução de boca-de-lobo dupla com tampa de concreto (tipo PMSP)	CPOS nº 175	491203	unid.	2,00	3.580,62	<b>7.161,24</b>
4.5	Tampão em ferro fundido (600 mm)	CPOS nº 175	490642	unid.	2,00	337,64	<b>675,28</b>
						<b>Total:</b>	<b>113.236,48</b>

Conforme indicado na Tabela 6, para a implantação de 200 m (duzentos metros) de galeria de água pluvial com tubulação de  $\varnothing$  0,80 m, o custo total estimado é de R\$ 113.236,48 (cento e treze mil, duzentos e trinta e seis reais e quarenta e oito centavos).

Comparando os valores apresentados nas tabelas 5 e 6, verifica-se que a implantação da galeria com a tubulação de  $\varnothing$  0,80 m representa um acréscimo de R\$ 17.828,42 (dezesete mil, oitocentos e vinte e oito reais e quarenta e dois centavos) ou 18,69% em relação ao custo final com tubulação de  $\varnothing$  0,60 m.

## **9.2 Da capacidade hidráulica**

Para os cálculos de estimativas de vazões máximas e posterior análise das capacidades de escoamento no sistema de drenagem existente e até mesmo para projetos futuros deve-se determinar a “chuva de projeto” ou “precipitação de projeto”. Realiza-se tal procedimento através da análise estatística de séries históricas de dados pluviométricos da região de estudo. A utilização de séries históricas longas permite determinar as “Curvas I-D-F”, que representam as características fundamentais das precipitações, sendo elas: intensidade, duração e frequência.

Para a determinação da chuva de projeto da galeria pluvial em análise, utilizou-se como base a equação do Posto Pluviométrico de Martinópolis (Código D8-041), apresentada no estudo de “Equações de Chuvas Intensas do Estado de São Paulo” do DAEE (MARTINEZ JR., 2018). Tal equação foi selecionada em função da sua localização ser a mais próxima a área de estudo.

A tabela 7 apresenta informações resumidas das previsões máximas de intensidades de chuvas, em mm/h para o Posto D8-041.

**Tabela 7** – Previsão de máximas intensidades de chuvas, em mm/h, posto D8-041 (Martinópolis/SP).

Duração (min)	Período de Retorno (T) (anos)								
	2	5	10	15	20	25	50	100	200
10	94,4	122,7	141,4	152,0	159,4	165,1	182,7	200,2	217,5
20	76,5	100,3	116,0	124,9	131,1	135,8	150,6	165,2	179,8
30	64,5	84,9	98,5	106,1	111,5	115,6	128,3	140,9	153,4
60	44,1	58,6	68,2	73,6	77,4	80,3	89,3	98,2	107,1
120	27,3	36,5	42,6	46,1	48,5	50,3	56,0	61,7	67,3
180	20,0	26,7	31,2	33,7	35,5	36,9	41,0	45,2	49,4
360	11,2	15,0	17,5	18,9	19,9	20,7	23,0	25,4	27,7
720	6,1	8,1	9,5	10,2	10,8	11,2	12,4	13,7	14,9
1080	4,2	5,6	6,6	7,1	7,4	7,7	8,6	9,5	10,3
1440	3,3	4,3	5,0	5,4	5,7	5,9	6,6	7,2	7,9

Com a determinação da intensidade da chuva crítica, determinou-se a vazão de projeto considerando uma duração de chuva de 10 (dez) minutos e Períodos de Retorno de 25 anos (utilizado no Plano de Macrodrenagem) e 100 anos. Para o Período de Retorno de 25 anos e duração da chuva de 10 minutos obteve-se uma intensidade de chuva igual a 165,1 mm/h e Período de Retorno igual a 100 anos uma intensidade de chuva igual a 200,2 mm/h

Cabe ressaltar que a adoção do Período de Retorno está associada ao grau de segurança que se deseja proporcionar ao dimensionamento de uma obra hidráulica, já que o mesmo indica a freqüência com que a chuva ou vazão utilizada para dimensionamento de obras hidráulicas venha a ser igualada ou até mesmo superada em um ano qualquer.

Obtida a intensidade da chuva nas condições previstas acima, determina-se a vazão de projeto através da utilização do Método Racional. No Plano de Macrodrenagem do município, utilizou-se de uma equação para transformação da intensidade de chuva de mm/hora para l/s.ha, obtendo assim a vazão específica da chuva (para TR de 25 anos), valor este que posteriormente utiliza-se no Método Racional. Tal vazão foi verificada conforme segue:

$$i = 165,1 \text{ (mm/hora)} / (60 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos}) = 0,045861 \text{ mm/s}$$

$$i = 0,045861111 \text{ mm/s} \times (1000 \text{ mm/m}) = 45,861111 \text{ m/s}$$

$$i = 45,861111 \text{ m/s} \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha} = 458.611,111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 458611,111 \text{ m}^3/\text{s} / 1000 \text{ l/m}^3 = \mathbf{458,7 \text{ l/s.ha}}$$

Utilizando-se do valor obtido na vazão específica, reescreve-se o Método Racional para a obtenção da vazão de projeto, conforme segue:

$$Q \text{ (l/s)} = 166,7 \text{ (ajuste de unidades)} \times C \text{ (s.d.)} \times 2,75 \text{ (mm/min)} \times A \text{ (ha)}$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{458,7} \times C \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{458,7} \times 0,555 \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{254,58} \times A$$

Utilizando-se dos métodos acima, obtemos a vazão específica da chuva para o Período de Retorno de 100 anos e o Método Racional conforme segue:

$$i = 200,2 \text{ (mm/hora)} / (60 \text{ minutos} \times 60 \text{ segundos}) = 0,05561 \text{ mm/s}$$

$$i = 0,045861111 \text{ mm/s} \times (1000 \text{ mm/m}) = 55,61 \text{ m/s}$$

$$i = 45,861111 \text{ m/s} \times 10000 \text{ m}^2/\text{ha} = 556.111 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$i = 458611,111 \text{ m}^3/\text{s} / 1000 \text{ l/m}^3 = \mathbf{556,11 \text{ l/s.ha}}$$

$$Q \text{ (l/s)} = 166,7 \text{ (ajuste de unidades)} \times C \text{ (s.d.)} \times 2,75 \text{ (mm/min)} \times A \text{ (ha)}$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{556,11} \times C \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{556,11} \times 0,555 \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{308,64} \times A$$

As informações apresentadas na tabela 8 indicam os valores obtidos para uma vazão de projeto com Período de Retorno de 25 anos (165,1 mm/h).

**Tabela 8** – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 25 anos.

Ponto	Trecho	Declividade (%)	Cotas (m)	Distâncias (m)	Área (há)	Vazão Parcial Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)
0			399,56		0,354	90,12	90,12
	0-1	3,4		84,00			
1			396,68		1,147	292,00	382,12
	1-2	2,7		113,00			
2			393,61		0,976	248,47	630,59
	2-3	0,8		110,00			
3			392,75		1,282	326,37	956,97
	3-4	3,0		90,00			
4			390,08		0,414	105,40	1.062,36
<b>∑ Área</b>					4,17	<b>∑ Vazão</b>	1.062,36

No local foi previsto a implantação da galeria no início do ponto 2, compreendendo conseqüentemente os pontos 3 e 4. Entre os pontos 2 e 3, obteve-se a vazão acumulada de 956,97 l/s ou 0,956 m³/s e para o trecho entre os pontos 3 e 4 a vazão de 1062 l/s ou 1,062 m³/s. Diante destes valores, é calculada a capacidade hidráulica da tubulação considerando o diâmetro de 0,60 m e as declividades dos trechos, sendo 0,8 % entre os trechos 2 e 3 e 2,0 % entre os trechos 3 e 4. Para estes trechos, as vazões hidráulicas verificadas estão dispostas na tabela 9:

**Tabela 9** – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,60 m

Ponto	Trecho	Declividade (%)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidráulica (Q – l/s)
2			-	-
	2-3	0,8		
3			956,97	1.250,00
	3-4	2,0		
4			1.062,36	1.980,00

Nota-se que já com a implantação da galeria com a tubulação de Ø 0,60 m a mesma fornece condições suficientes para o escoamento da vazão de projeto obtida com o Período de Retorno de 25 anos. Na verificação da capacidade hidráulica entre os pontos 3 e 4, adotou-se a declividade de 2,0 % para que a

velocidade da água não fosse superior a 7,0 m/s, valor máximo recomendado em literaturas de hidráulica.

Considerando que a vazão máxima encontrada para a galeria, de 1.062,36 l/s (**Tabela 8**) e a capacidade hidráulica para a galeria é de 1.980,00 l/s (**Tabela 9**), pode-se dizer que a mesma suporta a vazão de projeto com 54% da capacidade total da tubulação.

Mesmo com o resultado obtido na análise anterior, foi estudada sob as mesmas condições anteriormente descritas a vazão de projeto adotando Período de Retorno de 100 anos (200,2 mm/h), sendo os valores obtidos apresentados na tabela 10.

**Tabela 10** – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 100 anos.

Ponto	Trecho	Declividade (%)	Cotas (m)	Distâncias (m)	Área (há)	Vazão Parcial Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	
0			399,56		0,354	109,26	109,26	
	0-1	3,4		84,00				
1			396,68		1,147	354,01	463,27	
	1-2	2,7		113,00				
2			393,61		0,976	301,23	764,50	
	2-3	0,8		110,00				
3			392,75		1,282	395,68	1.160,18	
	3-4	3,0		90,00				
4			390,08		0,414	127,78	1.287,95	
					<b>∑ Área</b>	4,17	<b>∑ Vazão</b>	1.287,95

Para o trecho compreendido entre os pontos 2 e 3 a vazão acumulada obtida foi de 1.160,18 l/s ou 1,16 m<sup>3</sup>/s e para o trecho entre os pontos 3 e 4 a vazão de 1.287,96 l/s ou 1,28 m<sup>3</sup>/s. Diante destes valores, calculou-se a capacidade hidráulica da tubulação, sob as mesmas condições anteriores, alterando somente a dimensão da tubulação para Ø 0,80 m. As vazões hidráulicas verificadas estão dispostas na tabela 11:

**Tabela 11** – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,80 m

Ponto	Trecho	Declividade (%)	$\Sigma$ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	$\Sigma$ Vazão Hidráulica (Q – l/s)
2			-	-
	2-3	0,8		
3			1.160,18	2.700,00
	3-4	1,4		
4			1.287,95	3.570,00

Verificando a vazão acumulada na **Tabela 10** e a vazão máxima suportada pela galeria com a tubulação de Ø 0,80m (**Tabela 11**) constata-se que a mesma amplia a capacidade de escoamento da vazão de projeto. Na verificação da capacidade hidráulica entre os pontos 3 e 4, adotou-se a declividade de 1,4% para que a velocidade da água não fosse superior a 7,0 m/s, valor máximo recomendado em literaturas de hidráulica.

Considerando a vazão máxima para a galeria, de 1.287,98 l/s e a capacidade hidráulica de 3.570,00 l/s, pode-se dizer que a mesma suporta a vazão de projeto com 36% da capacidade total da tubulação.

Analisando as informações descritas acima, obtivemos vazão de projeto acumulada igual a 1.062,36 l/s adotando TR de 25 anos e 1.287,95 l/s para TR igual a 100 anos, compreendendo assim um aumento de vazão de aproximadamente 21%.

Quanto aos valores obtidos para a capacidade hidráulica da galeria, foi verificado que a tubulação com diâmetros de Ø 0,60m suporta uma vazão equivalente a 1.980,00 l/s e a tubulação de Ø 0,80m suporta uma vazão de 3.570,00 l/s, valor este 80% superior ao diâmetro anteriormente citado.

Para melhor compreensão dos dados obtidos, a Tabela 12 apresenta uma síntese dos resultados obtidos.

**Tabela 12** – Síntese dos resultados obtidos.

Diâmetro (Ø)	Período de Retorno (anos)	Intensidade da Chuva (mm/h)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidráulica (Q – l/s)	Relação ∑ Vazão Hidrológica / Hidráulica (%)	Subtotal (R\$)
0,60	25	165,1	1.062,36	1.980,00	53,65	<b>95.408,06</b>
0,80	100	200,2	1.287,95	3.570,00	36,08	<b>113.236,48</b>
<b>Diferença:</b>						<b>17.828,42</b>

### 9.3 Cenários com alto grau de impermeabilização da bacia

No processo de verificação da vazão de projeto, adota-se no Método Racional um coeficiente único que retrata o grau de impermeabilização da bacia, denominado Coeficiente de escoamento superficial (C), conforme descrito no Item 4.1.1. Quanto maior o valor atribuído, maior será a parcela que se transformará em Escoamento Superficial Direto e conseqüentemente, em vazão de Projeto.

Para a determinação da vazão de projeto, consta no Plano Diretor de Macrodrenagem do município a adoção do coeficiente C igual a 0,555. Conforme valores recomendados pelo DAEE (2006), este valor indica a utilização de um coeficiente para área totalmente urbanizada, uma vez que para este grau de urbanização orienta-se a adoção de valores entre 0,50 e 1,00.

Considerando o cenário cuja bacia esteja sob influência do maior índice de urbanização, refletindo a baixa possibilidade de impermeabilização da água precipitada e o elevado índice de Escoamento Superficial Direto, verificou-se as vazões de projeto com a adoção do Coeficiente C igual a 1,00, considerando chuvas com Períodos de Retorno de 25 e 100 anos. Para a determinação das vazões neste novo cenário, utilizou-se do Método Racional, conforme descrito no item 1.2 e a adoção do Coeficiente C anteriormente mencionado, cujos resultados obtidos, para Período de Retorno igual a 25 anos constam na tabela 13:

$$Q \text{ (l/s)} = 166,7 \text{ (ajuste de unidades)} \times C \text{ (s.d.)} \times 2,75 \text{ (mm/min)} \times A \text{ (ha)}$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{458,7} \times C \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{458,7} \times 1,00 \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = \mathbf{458,7} \times A$$

**Tabela 13** – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 25 anos e C = 1,00.

Ponto	Trecho	Declividade (%)	Cotas (m)	Distâncias (m)	Área (há)	Vazão Parcial Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	
0			399,56		0,354	162,38	162,38	
	0-1	3,4		84,00				
1			396,68		1,147	526,13	688,51	
	1-2	2,7		113,00				
2			393,61		0,976	447,70	1.136,21	
	2-3	0,8		110,00				
3			392,75		1,282	588,05	1.724,26	
	3-4	3,0		90,00				
4			390,08		0,414	189,90	1,914,16	
					<b>∑ Área</b>	4,17	<b>∑ Vazão</b>	1.914,16

Analisando a capacidade de escoamento da seção da galeria, considerando os mesmos critérios utilizados no Item 1.2, verifica-se que no trecho compreendido entre os pontos 2-3 a mesma não escoaria a vazão de projeto, sendo necessária a adoção da declividade similar à do trecho 3-4. Adotando-se a declividade igual a 2,00 % a velocidade da água atingiria o valor máximo recomendado em literaturas, que é de 7,00 m/s.

**Tabela 14** – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,60 m e C = 1,00

Ponto	Trecho	Declividade (%)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidráulica (Q – l/s)
2			-	-
	2-3	0,8		
3			1.724,26	1.250,00
	3-4	2,0		
4			1.914,16	1.980,00

Neste cenário analisado, considerando o Período de Retorno igual a 25 anos e o Coeficiente C igual a 1,00, o trecho da galeria compreendido entre os pontos 2-3 não escoaria a vazão de projeto caso houvesse uma precipitação com intensidade de 119,70 mm/h. Tal situação, admitindo a duração da chuva de 10 minutos, seria equivalente a uma chuva com Período de Retorno igual a 5 anos; valor abaixo do utilizado para elaboração do plano. Ressalta-se que trecho

necessariamente deveria ser executado com a declividade de 2,00% para veicular a vazão de projeto.

Ainda pode-se verificar que a vazão total de projeto nestas condições seria igual a 1.914,16 l/s e que a capacidade máxima da galeria, com a adoção de 2,00 % de declividade em toda sua extensão, é igual a 1.980,00 l/s. Considerando a capacidade hidráulica da galeria; seria necessária uma precipitação com intensidade de 171,84 mm/h para que a mesma trabalhasse com sua capacidade total. Para tanto, esta condição, com duração de chuva igual a 10 minutos, seria equivalente a uma evento hidrológico com Período de Retorno de 33 anos. Tal valor indica que em nenhuma das condições existentes a galeria com diâmetro de 0,60 metros veicularia uma vazão de cheia correspondente a uma chuva com Período de Retorno de 100 anos

Para a determinação das vazões com Período de Retorno igual a 100 anos também utilizou-se o Método Racional e o coeficiente C igual a 1,00, cujos resultados obtidos constam na tabela 15:

$$Q \text{ (l/s)} = 166,7 \text{ (ajuste de unidades)} \times C \text{ (s.d.)} \times 2,75 \text{ (mm/min)} \times A \text{ (ha)}$$

$$Q \text{ (l/s)} = 556,11 \times C \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = 556,11 \times 1,00 \times A$$

$$Q \text{ (l/s)} = 556,11 \times A$$

**Tabela 15** – Vazão de projeto no local da galeria para TR = 100 anos e C = 1,00.

Ponto	Trecho	Declividade (%)	Cotas (m)	Distâncias (m)	Área (há)	Vazão Parcial Hidrológica (Q – l/s)	∑ Vazão Hidrológica (Q – l/s)
0			399,56		0,354	196,86	196,86
	0-1	3,4		84,00			
1			396,68		1,147	637,86	834,72
	1-2	2,7		113,00			
2			393,61		0,976	542,76	1.377,48
	2-3	0,8		110,00			
3			392,75		1,282	712,93	2.090,41
	3-4	3,0		90,00			
4			390,08		0,414	230,23	2,320,64
				<b>∑ Área</b>	4,17	<b>∑ Vazão</b>	2.320,64

Analisando a capacidade de escoamento da seção da galeria, considerando os mesmos critérios utilizados no Item 1.2, verifica-se que toda a extensão da galeria atenderia a demanda para transporte da vazão de cheia. Adotando-se a declividade igual a 1,40 % a velocidade da água atingiria o valor máximo recomendado em literaturas, que é de 7,00 m/s.

**Tabela 16** – Capacidade hidráulica da seção de Ø 0,80 m e C = 1,00

Ponto	Trecho	Declividade (%)	$\Sigma$ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	$\Sigma$ Vazão Hidráulica (Q – l/s)
2			-	-
	2-3	0,8		
3			2.090,41	2.700,00
	3-4	1,4		
4			2.320,64	3.570,00

Considerando a capacidade hidráulica da galeria; seria necessária uma precipitação com intensidade de 341,88 mm/h para que a mesma trabalhasse com sua capacidade total. Para tanto, esta condição, com duração de chuva igual a 10 minutos, seria equivalente a um evento hidrológico com Período de Retorno de 8.018 anos.

Para melhor compreensão dos resultados obtidos, a tabela 17 apresenta os dados das simulações descritas acima:

**Tabela 17** – Síntese dos resultados obtidos.

Diâmetro (Ø)	Período de Retorno (anos)	Intensidade da Chuva (mm/h)	$\Sigma$ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	$\Sigma$ Vazão Hidráulica (Q – l/s)	Relação $\Sigma$ Vazão Hidrológica / Hidráulica (%)	Condição
0,60 (Trecho I)	25	165,1	1.724,26	1.250,00	Não atende	i = 2,00 %
0,60 (Trecho II)			1.914,16	1.980,00	96,67	i = 2,00 %
0,80 (Trecho I)	100	200,2	2.090,41	2.700,00	77,42	i = 0,80 %
0,80 (Trecho II)			2.320,64	3.570,00	65,00	i = 1,40 %

Sob todas as análises realizadas e considerando a probabilidade de ocorrência de um evento hidrológico com determinado período de retorno ocasionar falhas em uma obra em função de sua vida, (conforme Item 5.1), verifica-se que a adoção de Período de Retorno de 25 anos para dimensionamento de uma galeria

pluvial, com vida útil estimada de 20 anos, representa a probabilidade de falha de 87,8%. Já para a mesma obra, com adoção do Período de Retorno de 100 anos, tal probabilidade é reduzida para 18,1%.

Portanto, considerando todas as análises efetuadas, quanto ao custo, capacidade hidráulica, cenário de alto grau de impermeabilização da bacia e probabilidade de falha da galeria, têm-se os seguintes resultados, conforme tabela 18:

**Tabela 18 – Síntese final dos resultados obtidos.**

Diâmetro (Ø)	Período de Retorno (anos)	Coefficiente de Escoamento Superficial C	Σ Vazão Hidrológica (Q – l/s)	Σ Vazão Hidráulica (Q – l/s)	Relação Σ Vazão Hidrológica / Hidráulica (%)	Probabilidade de Falhas (%)	Custo Total (R\$)
0,60 (Trecho I)	25	0,55	956,97	1.250,00	76,56	87,8	95.408,06
0,60 (Trecho II)			1.062,36	1.980,00	53,65		
0,80 (Trecho I)	100	0,55	1.160,18	2.700,00	42,96	18,1	113.236,48
0,80 (Trecho II)			1.287,95	3.570,00	36,08		
0,60 (Trecho I)	25	1,00	1.724,26	1.250,00	Não atende	87,8	95.408,06
0,60 (Trecho II)			1.914,16	1.980,00	96,67		
0,80 (Trecho I)	100	1,00	2.090,41	2.700,00	77,42	18,1	113.236,48
0,80 (Trecho II)			2.320,64	3.570,00	65,00		

## 10 CONCLUSÃO

O Plano Diretor de Drenagem do município propôs a implantação de uma galeria de água pluvial, com diâmetro de 0,60 metros, considerando um Período de Retorno de 25 anos, valor superior ao mínimo recomendado em literaturas, que é de 10 anos. Nas análises realizadas verificou-se que no cenário cujo Coeficiente de Escoamento Superficial C é igual a 0,55 a galeria atenderia a sua função escoando toda a vazão de projeto. Alterando o valor do coeficiente C para 1,00, prevendo uma área totalmente impermeabilizada, verificou-se que um dos trechos da galeria não suportaria a vazão de projeto, inclusive com Período de retorno abaixo do recomendado em literatura.

Para todas as situações previstas para a tubulação com diâmetro de 0,80 metros, verificou-se que a mesma escoaria toda a vazão de projeto. Os cálculos indicam também que para a mesma não atender a uma vazão de projeto, seria necessária uma precipitação com Período de Retorno igual a 8.018 anos.

Verifica-se que na elaboração do Plano de Macrodrenagem foram utilizados valores coerentes para o Período de Retorno e o Coeficiente de Escoamento Superficial uma vez que, o primeiro, foi utilizado considerando um valor acima do usualmente utilizado e o segundo adotou-se um valor de uso e ocupação do solo acima do que pode ser verificado atualmente.

Em relação aos custos para a implantação da obra, verificou-se que é justificável a adoção de uma tubulação com diâmetro superior a 0,60 metros pelo fato da mesma atender a sua finalidade em todos os cenários possíveis, em especial à situação de uso e ocupação do solo máximo.

O trabalho em si não indica que obras de galerias pluviais devem ser executadas com diâmetros maiores sem quaisquer análises, uma vez que resultariam em obras superdimensionadas. Os resultados indicam que o gestor do sistema de drenagem deve conceber um plano considerando todas as variáveis possíveis e seus impactos no sistema. É possível verificar que além dos estudos contidos no plano, a administração pública deve se atentar principalmente nos impactos do uso e ocupação do solo na bacia, uma vez tal fenômeno é o que mais altera as condições de funcionamento do sistema. Definir as diretrizes de uso e

ocupação do solo, incentivar práticas de retenção de águas pluviais nos lotes entre outras medidas permite ao município o uso adequado de seus recursos. O investimento na antecipação de problemas sempre é menos custoso que o uso na reparação.

## 10 REFERÊNCIAS

BOTELHO, M.H.C. **Águas de Chuva: Engenharia das Águas Pluviais nas Cidades.** São Paulo: Edgard Blücher, 1984.

BRASIL, Congresso Nacional. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico, altera a Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, a Lei nº 8.036, de 11 de maio de 1990, a Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993, e a Lei nº 8.987, de 13 de fevereiro de 1995, e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes.** São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

COMPANHIA PAULISTA DE OBRAS E SERVIÇOS (São Paulo). **Boletim Referencial de Custos – Tabela de Serviços – Sem Desoneração.** CPOS. Versão 175. São Paulo: 2019.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Manual de cálculo das vazões máximas, médias e mínimas nas bacias hidrográficas do estado de são paulo.** PERH. São Paulo: 1994.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Guia prático para projetos de pequenas obras hidráulicas.** DAEE. 2ª ed. São Paulo: Imprensa Oficial, 2006. 116 p.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA (São Paulo). **Apostila de treinamento sobre segurança de barragens.** Unidade 4: Aspectos Hidrológicos. DAEE. São Paulo: 2016.

DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA E COMPANHIA DE TECNOLOGIA E SANEAMENTO AMBIENTAL, **Drenagem Urbana: Manual de Projeto.** DAEE/CETESB. 2ª ed. corr., São Paulo, 1980.

Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?dados=8&uf=00>>. Acesso em 04 mar. 2019.

Disponível em: <<http://sosriosdobrasil.blogspot.com/2012/06/livro-escassez-de-agua-e-inundacoes-na.html>> Acesso em: 07 mar. 2019.

Disponível em <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2007/Lei/L11445.htm)> Acesso em: 10 mar. 2019

Disponível em : <<http://www.bertioga.sp.gov.br/noticias/ruas-ja-recebem-sinalizacao-variavel-e-mais-onze-estao-prontas-para-a-pavimentacao/>> Acesso em 15 mar. 2019.

FENDRICH, Roberto et al. **Drenagem e controle da erosão urbana.** 4ª. ed. Curitiba: Champagnat, 1997.

FUSARO, Teresa Cristina. **Curso de segurança de barragens**. Módulo III: Gestão e desempenho de barragens. Brasília: ANA, 2011.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Elementos de engenharia hidráulica e sanitária**. 2ª. ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda, 1974, 1976 reimpressão.

GOMES, Ana Cláudia. **Ruas já recebem sinalização viária e mais onze estão prontas para a pavimentação**. Disponível em: <<http://www.bertioga.sp.gov.br/noticias/ruas-ja-recebem-sinalizacao-viaria-e-mais-onze-estao-prontas-para-a-pavimentacao/>> Acesso em: 15 mar. 2019.

GRIBBIN, Jonh E. **Introdução à hidráulica e hidrologia na gestão de águas pluviais**. Tradução: Glauco Peres Damas. São Paulo: Cengage Learning, 2009.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Boletim regional, urbano e ambiental**. Brasília: Ipea. Dirur, 2008.

MARTINEZ JUNIOR, Francisco. **Estudo de chuvas intensas no Estado de São Paulo**. São Paulo: CTH/DAEE, 2018

MASCARÓ. J. L. **Infra-Estrutura Urbana**. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2005.

MIGUEZ, Marcelo Gomes; VERÓL, Aline Pires; REZENDE, Osvaldo Moura. **Drenagem Urbana: Do projeto tradicional à sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016.

PHILIPPI JR. A. et al. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Editora Malone, 2005.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Instruções Técnicas para Elaboração de Estudos Hidrológicos e Dimensionamento Hidráulico de Sistemas de Drenagem Urbana**. Rio de Janeiro, 2010

RIGUETTO, Antônio Marozzi (coord.). **Manejo de águas pluviais urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

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

TOMINAGA, Lídia Keiko; SANTORO, Jair; AMARAL, Rosangela do (Orgs). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2015.

TUCCI, Carlos E.M. **Gestão de águas pluviais urbanas**. Brasília: Ministério das Cidades, 2006.

VIEIRA NETO, José. **O fenômeno da urbanização no Brasil e a violência nas cidades**. Espaço em Revista, vol. 13, n. 12, pg. 125-149, jul/dez. 2011.