

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS – UNIS/MG
ENGENHARIA CIVIL
AMANDA CAROLINE DE ANDRADE FOCHESTATTO

**MICRODRENAGEM URBANA: Análise e solução para o problema na Avenida Sete de
Setembro, na cidade de Três Corações – MG.**

Varginha
2017

AMANDA CAROLINE DE ANDRADE FOCHESTATTO

MICRODRENAGEM URBANA: Análise e solução para o problema na Avenida Sete de Setembro, na cidade de Três Corações – MG.

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia Civil do Centro Universitário do Sul de Minas - UNIS/MG como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob a orientação da Profª Esp. Luana Ferreira Mendes.

**Varginha
2017**

AMANDA CAROLINE DE ANDRADE FOCHESTATTO

MICRODRENAGEM URBANA: Análise e solução para o problema na Avenida Sete de Setembro, na cidade de Três Corações – MG.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Civil do Centro Universitário do Sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em / /2017

Prof^a. Esp. Luana Ferreira Mendes

Prof.

Prof.

OBS:

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela saúde e força que Ele me proporciona todos os dias.

Agradeço também a minha mãe Érica Fochesatto e ao meu pai Roni Fochesatto pelo incentivo, paciência e dedicação durante todos esses anos.

Agradeço ao meu irmão Lucas Fochesatto, por toda a ajuda e compreensão.

Agradeço ao meu orientador Leopoldo Uberto Ribeiro Junior por me direcionar e guiar da melhor forma possível no decorrer deste trabalho.

Agradeço a minha orientadora Luana Ferreira Mendes que sempre esteve disposta a me ajudar, incentivar, apoiar e pela dedicação para a realização deste trabalho.

Agradeço os amigos que conquistei durante essa jornada e que sempre torceram por mim.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo procurar observações estruturais para o sistema de microdrenagem na Avenida Sete de Setembro no município de Três Corações - MG com a finalidade de diminuir as irregularidades que atingem os moradores e o desconforto em momentos de grande precipitação. A principal utilidade do sistema de microdrenagem é coletar e transportar a água pluvial retirando-a dos pavimentos das ruas públicas e a dispor no sistema de macrodrenagem, propiciando a prevenção de alagamentos, e promovendo a segurança aos pedestres e motoristas nas ruas com o intuito de evitar ou diminuir danos. Para desenvolvimento deste presente trabalho, necessitou-se da realização de um estudo de caso a respeito das possíveis causas destes alagamentos e para isto, se fez necessários levantar dados relativos à bacia de estudo, bem como as características específicas de cada dispositivo de coleta, e condução das águas da chuva. Através de visitas *in loco*, foi possível detectar as falhas de eficiência do sistema existente, e com a ajuda de referenciais teóricos e orientações técnicas de profissionais da área de drenagem verificar os dispositivos com falhas, detectando que os instrumentos de captação possuem a capacidade de absorção menor que de fato deveriam suportar, além de mostrarem restrição quanto a sua capacidade de condução do vazamento da chuva. Através desta análise feita, será proposto um novo projeto para que possa solucionar este problema, bem como uma estimativa de custo para sua implantação.

Palavras Chave: Drenagem; Microdrenagem; Alagamentos.

ABSTRACT

This work aims to look for structural observations for the microdrainage system at Avenida Sete de Setembro in the municipality of Três Corações - MG in order to reduce the irregularities that affect residents and the discomfort at times of great precipitation. The main use of the microdrainage system is to collect and transport the rainwater by removing it from the pavements of the public streets and to dispose it in the macro drainage system, preventing flooding, and promoting the safety of pedestrians and drivers on the streets in order to prevent or reduce damage. For the development of this present work, a case study was done on the possible causes of these floods and for this, it was necessary to collect data on the basin of study, as well as the specific characteristics of each collection device, and driving rainwater. Through on-site visits, it was possible to detect the inefficiencies of the existing system, and with the help of theoretical references and technical guidance of drainage professionals, check the devices with failures, detecting that the capture instruments have the absorption capacity lower than they should actually bear, in addition to showing a restriction on their ability to conduct rainfall leaks. Through this analysis, a new project will be proposed to solve this problem, as well as a cost estimate for its implementation.

Keywords: *Drainage; Microdrainage; Flood.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Local com falta de saneamento básico.....	15
Figura 02 – Ciclo Hidrológico.....	17
Figura 03 – Sistema de Microdrenagem.....	22
Figura 04 – Tipos de Boca de Lobo	25
Figura 05 – Fórmula para o formato da galeria.....	28
Figura 06 – Ábaco para a definição da relação y/D	29
Figura 07 – Posição das unidades de drenagem	31
Figura 08 – Hidrograma unitário.....	35
Figura 09 – Área em estudo.....	45
Figura 10 – Canal	48
Figura 11 – Área da bacia de contribuição	49
Figura 12 – Boca de lobo obstruída.....	50
Figura 13 – Boca de lobo obstruída.....	50
Figura 14 – Sarjeta com redução nas dimensões.....	50
Figura 15 – Início da galeria.....	51
Figura 16 – Poço de visita	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Coeficiente de rugosidade.....	24
Tabela 02 – Fator de redução de escoamento.....	27
Tabela 03 – Declividade de galeria	29
Tabela 04 – Valores de C2	34
Tabela 05 – Valores de coeficiente de escoamento superficial.....	36
Tabela 06 – Risco em função da vida útil e do período de retorno	38
Tabela 07 – Tempo de retorno.....	39
Tabela 08 – Coeficiente de rugosidade de retardo	42
Tabela 09 – Quantitativo de áreas	55

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	14
2.1 Geral.....	14
2.2 Específicos.....	14
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1 Saneamento.....	15
3.2 Hidrologia.....	16
3.2.1 Ciclo Hidrológico.....	17
3.3 Drenagem.....	18
3.4 Tipos de drenagem.....	20
3.4.1 Microdrenagem.....	20
3.5 Componentes de um sistema de drenagem de águas pluviais.....	22
3.6 Estimativas da Vazão de Projeto.....	31
3.6.1 Método Racional.....	31
3.6.2 Método I-Pai-Wu Modificado.....	32
3.6.2.1 Coeficiente de forma C1.....	32
3.6.2.2 Coeficiente C2.....	34
3.6.3 Método NRCS.....	35
3.7 Coeficientes de escoamento superficial.....	35
3.8 Período de retorno.....	37
3.9 Tempo de concentração.....	39
3.10 Fórmula Califórnia CulvertsPractice.....	40
3.11 Fórmula da Federal AviationAgency.....	41
3.12 Equação de Kerby (1959).....	41
3.13 Pluvio.....	43
3.14 Área de drenagem.....	44
4 MATERIAL E MÉTODO.....	45
5 RESULTADOS.....	48
5.1 Características físicas da bacia em estudo.....	48
5.2 Caracterização do sistema existente.....	49
5.2.1 Bocas de Lobo.....	49
5.2.2 Sarjetas.....	50

5.2.3 Galeria	51
5.2.4 Poço de visita	51
5.3 Considerações feitas no local de estudo:	52
5.4 Cálculos hidrológicos	53
5.4.1 Cálculo da declividade do curso d' água.....	53
5.4.2 Definição do tempo de retorno.....	53
5.4.3 Comprimento do talvegue principal.....	53
5.4.4 Cálculo do tempo de escoamento superficial.....	53
5.4.5 Cálculo do tempo de concentração.....	54
5.4.6 Parâmetros da equação da chuva.....	54
5.4.8 Quantitativo de áreas.....	54
5.4.9 Cálculo do coeficiente de runoff médio	55
5.4.10 Cálculos hidráulicos	55
5.4.11 Quadro de áreas da bacia de contribuição.....	55
6 CONCLUSÃO.....	57
REFERÊNCIAS	58
APÊNDICE A	61

1 INTRODUÇÃO

São claros os danos causados pelo mau funcionamento de sistemas de drenagem pluvial, uma vez que estes são dotados de processos intoleráveis e danificação ao meio ambiente. A causa dessas demandas atinge toda infraestrutura referente aos recursos hídricos, aos quais necessitam de tratamento, abastecimento e drenagem pluvial.

Com o efeito do processo de urbanização de uma determinada bacia o escoamento superficial sofre mudanças, causando assim maiores vazamentos. Os maiores fatores irregulares na aplicação do sistema de drenagem consistem na falta de controle, planejamento e espaçamento inadequado, embora ajam individualmente eles estão diretamente ligados uns aos outros de forma complexa, atingindo sobre tudo as classes econômicas, sociais e ambientais.

Os impactos podem aparecer na forma de inundações e enchentes. A caracterização de suas causas e feitos se dá pela interpretação de sua ligação entre os possíveis motivos desfavoráveis. O aumento populacional intercede sucessivamente na taxa de ocupação, provocando na expansão de áreas impermeabilizadas, ou seja, quanto mais aumenta a população, mais haverá ocupação do solo e redução de áreas permeáveis, em consequência atrapalha-se a penetração da água pluvial e sua colocação no solo.

Segundo Tucci (1995) essa modificação resultou em um crescimento do volume de fluido escoando na superfície, que combinado com a deficiência ou ausência de sistema de microdrenagem nas cidades, acarretou em grandes transtornos, destacando a necessidade de se aprimorar os conhecimentos na área. Com isso surgem leis e regulamentos para a ocupação e manejo do solo em áreas urbanas, afim de garantir que as cidades não se transformem em grandes aglomerados impermeáveis.

Quando ligado à falta de manutenções dos sistemas, e projetos desatentos têm-se a obstrução dos sistemas de coleta e condução, limitando a sua efetividade de operação. Os lixos representam uma dificuldade ao sistema, pois quando expostos nas vias podem vir a serem levados pelas águas pluviais e causam acúmulos de resíduos nas bocas de lobo e galerias, causando entupimentos e danificação dos mesmos. O sistema pode vir a ser bloqueado apenas pela velocidade exagerada do escoamento pluvial, e uma vez danificado, intercepta a capacidade de condução das águas, assim como o espaçamento irregular dos dispositivos de coleta, cuja função é introduzir as águas transportadas pelo escoamento e direcioná-la as galerias. Cabe ao projetista buscar todas as informações importantes para o avanço do projeto relativo à área em estudo, principalmente em obras de drenagem, e precisão técnica para que o

trabalho resulte em um sistema hidraulicamente balanceado. Para que o sistema de drenagem trabalhe em condições de máximo êxito, é nítida a atuação de projetos adequáveis a região de estudo considerando as singularidades que possam vir a afetá-lo, além de planejamento urbano apropriado ao qual se encaixa a limpeza contínua do sistema, ruas e descarte de resíduos, e efetividade executiva para que assim seja definida a existência de impactos urbanos.

Segundo Botelho (2011, pág. 20), quando o sistema pluvial é projetado para uma área já urbanizada, com urbanização sem planejamento, o sistema pluvial será corretivo. Porém, haverá um alto custo para a realização de sua obra. Observa-se também, a urbanização mal concebida da região de estudo, que não seguiu as características topográficas e geológicas. Diante desta situação faz-se necessária a caracterização desta área e a readequação dos dispositivos do sistema de drenagem da bacia, constituindo neste trabalho a necessidade de elaboração de um projeto técnico para a melhoria da qualidade de vida da população ali residente.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

O presente trabalho tem por objetivo analisar e propor solução para a área de drenagem na Avenida Sete de Setembro, bairro Centro, em Três Corações – MG, durante o período de precipitações intensas.

2.2 Específicos

- Caracterizar os dados hidrológicos para analisar o comportamento da bacia;
- Identificar o sistema de drenagem atual e verificar os problemas existentes;
- Caracterizar a topografia da bacia contribuinte;
- Dimensionar e estimar a vazão de projeto e dos componentes existentes;
- Verificar a capacidade de escoamento das águas pluviais dos dispositivos existentes;
- Propor o novos dispositivos e adequações aos existentes, com base nos resultados obtidos em análise e verificações;
- Apresentar um projeto da bacia em estudo, com a locação dos novos dispositivos e dos sistemas que foram readequados;
- Elaborar uma estimativa de custo para implantação do projeto proposto.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Saneamento

Várias pesquisas relatam que as modificações no ambiente provocadas pela ação do homem, alteram expressivamente os ambientes naturais, poluindo o ambiente físico, elevando o risco de exposição a doenças, consumindo recursos naturais sem o discernimento apropriado, atuando desfavoravelmente na qualidade de vida populacional. (MIRANDA et. al. 1994; MINISTÉRIO DA SAÚDE 1995; BANCO MUNDIAL 1998)

A figura 01 exemplifica bem os efeitos da falta de saneamento básico encontrados no Haiti em 2015.

Figura 01 - Local com falta de saneamento básico



Fonte: ONU, 2015

Primeiramente, o saneamento apresentou como principal objetivo proporcionar água de qualidade para as pessoas e garantir destino apropriado para seus dejetos, contemplando suas duas atividades básicas, sendo elas, o abastecimento de água e esgotamento sanitário. (SUETONIO, 2012)

Segundo o IBGE (2010), em nosso país, aproximadamente 40 mil toneladas de lixo não são coletadas diariamente. Aproximadamente 60 mil toneladas são coletadas, porém somente 28% apenas são tratadas ambientalmente.

Para prevenir a ocorrência de doenças se tornam necessários serviços de saneamento. Se há serviços de saneamento, várias doenças não se propagam. (SUETONIO, 2012)

A OMS (2007) nos define saneamento do meio como o manejo de todos os elementos da área físico do homem que desempenham resultado prejudicial em relação a sua saúde física, social e mental.

A Lei nº 11.445/07 determina as orientações para o saneamento básico em nosso país (artigo 1º) e contém as funções de manejo de resíduos sólidos, esgotamento sanitário, limpeza urbana, abastecimento de água, drenagem e manejo de águas pluviais urbanas, ou seja, água, esgoto, lixo e drenagem. (ANTUNES, 2014)

Conforme FERRAZ (2017), segundo ainda a lei 11.445, o saneamento de cada cidade é de responsabilidade de seus respectivos prefeitos gerirem.

3.2 Hidrologia

Pela definição do dicionário MICHAELIS (2017), “Hidrologia é a ciência que trata das águas, suas propriedades, leis, fenômenos, interação com o meio e distribuição, na superfície e abaixo da superfície da terra”.

Hidrologia é a ciência responsável pela água da terra, seu acontecimento, fluxo e disposição, suas particularidades físicas e químicas, e seus comportamentos com o meio ambiente, englobando suas ligações com a vida. (USA - COUNCIL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, COMMITTEE FOR SCIENTIFIC HIDROLOGY, 1962, apud TUCCI, 2000)

Engenheiros civis utilizam a água onde quer que ela atinja as estruturas e a infraestrutura da humanidade. (GRIBBIN 2014)

Segundo CARVALHO (2007) Os campos onde há presença da Hidrologia são:

- Criação e Gestão da Bacia Hidrográfica: criação e manejo do uso dos recursos naturais.
- Abastecimento de Água: separação nas regiões áridas e semi-áridas do país.
- Drenagem Urbana: a maioria da população vive em áreas urbanas. Alagamentos, formação de sedimentos e problemas de qualidade da água.
- Aproveitamento Hidrelétrico: a energia hidrelétrica constitui aproximadamente 92% da energia produzida no país. Precisa de disponibilidade de água, da sua regularização por obras hidráulicas e do impacto das mesmas sobre o meio ambiente.
- Uso do Solo Rural: produção de sedimentos e nutrientes, decorrendo em perda do solo fértil e assoreamento dos rios.
- Controle de Erosão: meios de combate à erosão do solo.

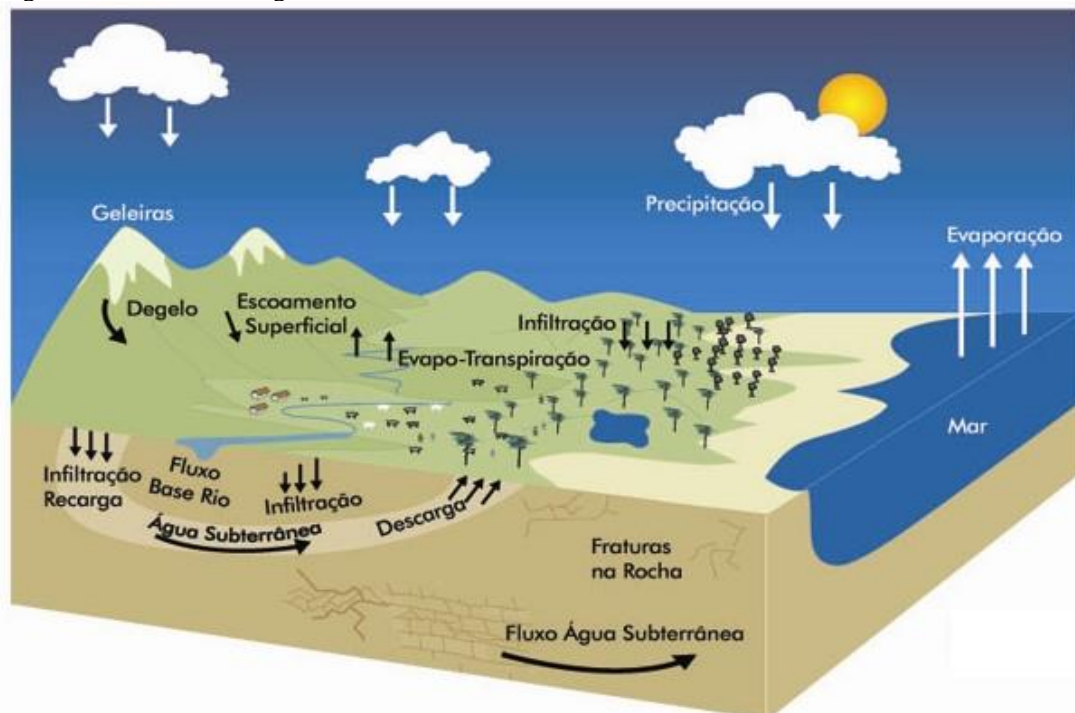
- Controle da Poluição e Qualidade da Água: tratamento dos restos domésticos e industriais e de produtos de uso agrícola.
- Irrigação: a cultura agrícola em algumas áreas necessita principalmente da disponibilidade de água.
- Navegação.
- Recreação e Preservação do Meio Ambiente.
- Preservação dos Ecossistemas Aquáticos.

3.2.1 Ciclo Hidrológico

As fases do ciclo hidrológico são: Precipitação, escoamento subterrâneo, deflúvio e evaporação.

Da água precipitada, parte cai em direção as superfícies líquidas, parte transcorre pela extensão do solo até os lagos, ou até os rios e reservatórios ou até o oceano; parte volta consecutivamente a atmosfera por evaporação das áreas líquidas, do terreno e das plantas e parte transcorre dentro do solo. A figura 02 demonstra esquematicamente o sistema acima.

Figura 02 - Ciclo Hidrológico



Fonte: Ministério do Meio Ambiente (2017).

GRIBBIN (2014) relata que a água precipitada, chega a terra e percorre em declive, impulsionada pela gravidade, passando pelo solo até atingir riachos e rios que a guiam para o mar. Nossa humanidade conceitua naturais todas essas locomoções da água, e, se a água provocar qualquer destruição em seu percurso, como erosão ou enchente, ninguém é designado como culpado legal. Mas, a partir do instante em que as pessoas modificam a região do terreno da mesma forma como modificam o trajeto das águas pluviais, elas tornam-se encarregadas por qualquer falha decorrente dessa modificação.

Segundo JÂBOR (2013), a maior parte da água precipitada, alcança o seu sentido para o mar. Uma parcela evapora no decorrer da precipitação, outra evapora da superfície da terra e outra é sugada pela transpiração das plantas. Da que se depara com o seu caminho para as correntes fluviais e para o mar, uma parte decorre pela superfície instantaneamente, indo para o interior de vales e por eles alcança estagnações ou cursos d'água. A outra parte, cuja fração sujeita-se da permeabilidade do solo, se introduz no terreno e, por drenagem ou por percolação, alcança estagnações ou cursos d'água.

Uma inundação urbana acontece quando as águas da chuva, do mar e dos cursos d'água alcançam cidades, sendo ruas, calçadas, zonas habitacionais e comerciais (MARQUES 2013). Com isso, é fundamental a presença de uma rede de drenagem para garantir o bem-estar e a segurança da população. (GIRÃO 2017; et al. SIMÕES)

3.3 Drenagem

Conforme JÂBOR (2013), drenagem é a ciência que tem como finalidade, por meio de um Sistema de Drenagem correto, retirar e ou proibir tecnicamente o excedente das águas evidentes e profundas, a fim de preservar tudo sobre que consigam elas influenciar.

JÂBOR ainda afirma que o Sistema de Drenagem é a associação de instrumentos de drenagem que tem como propósito assegurar a plenitude do corpo estradal e dos seus arredores, assim como a seguridade dos usuários da via.

SUETONIO (2012) relata que a drenagem de águas pluviais é uma situação difícil que tem se agravado nas cidades, como decorrência da forma de ocupação que tem acontecido.

Os sistemas de drenagem têm por intuito, segundo SUETONIO (2012) assegurar o apropriado escoamento das águas pluviais. Muito mais do que obras objetivando a possibilitar a condução das águas, a drenagem deve ser vista dentro de uma perspectiva global, que tenha o sistema hídrico de uma bacia ou sub-bacia hidrográfica como um todo.

BARROS (2005) defende a relevância do plano diretor de drenagem urbana como procedimento básico de administração da água urbana.

Segundo SOUZA (2015; et al. Freire; et al. Mannich) o adequado manejo das águas pluviais urbanas, junto com uma organização da drenagem e aos padrões de administração seria capaz de diminuir os problemas provenientes das chuvas.

SUETONIO (2012) enfatiza que as alterações nos percursos naturais da água, quando indispensáveis, devem ser produzidas após um minucioso estudo dos impactos ambientais que poderão acarretar e serem realizadas acompanhadas de medidas, tendo em vista certificar o seu escoamento.

BOTELHO (2011) explica que quando a corrente que chega à rua é grande e maior que a capacidade de deslocamento superficial da rua, acontece o alagamento da rua, podendo até chegar ao transbordamento. Uma saída para impedir isso seria tirar a vazão excedente à capacidade de deslocamento da rua através de bocas de lobo, bocas de leão, caixa com grelha, etc.

A irregularidade do sistema de drenagem urbana gera inundações. Os prejuízos sociais, econômicos e ambientais efetuados por elas são grandes, especialmente porque a maior parte da população mundial, aproximadamente 80%, vive na área urbana, a grande parte delas com sistemas de drenagem em situações precárias. (BARROS, 2005)

Conforme NICKLOW (2001) uma concentração de água forma sobre uma superfície pavimentada quando a chuva cai, provocando problemas no tráfego de veículos, ocasionando problemas de aquaplanagem e visibilidade.

A inundação urbana é originada basicamente pelo excesso de fluxo, denominado chuva excedente ou chuva efetiva, causado pelo aumento das taxas de impermeabilização do solo e, posterior diminuição dos processos de infiltração e de retenção de água. Quando a quantidade de fluxo gerado extrapola a capacidade de escoamento dos cursos d'água que drenam as cidades, acontecem as inundações. (BARROS, 2005)

De acordo com SUETONIO (2012) o que se certifica, especialmente em grandes cidades, é que até mesmo chuvas fracas geram inundações e enchentes em alguns lugares, com danos sociais e econômicos.

As inundações urbanas estão cada vez mais constantes, de tal forma que a União Européia publicou a Diretiva 2007/60/CE com propósito de tranquilizar os efeitos associados com este fenômeno e de estabelecer limites à concentração de poluentes nas águas pluviais. (GIRÃO et al. Simões; et al. Marques; et al. Leitão; et al. Pina 2017).

As inundações acontecidas nos últimos anos em áreas habitadas incentivaram a criação de vários trabalhos de investigação, os quais encaminharam a uma evolução dos padrões de drenagem urbana existente (DJORDJEVIĆ *et al.*, 2013; SIMÕES, 2012; BAZIN *et al.*, 2013).

3.4 Tipos de drenagem

Na definição de drenagem, há uma repartição de Macrodrenagem e Microdrenagem. A Macrodrenagem, segundo o CREA (2013), é o sistema de drenagem formado pelos talvegues fundamentais, como os rios, córregos, canais e outras estruturas que acumulam e carregam grandes volumes de água. O CREA (2013) também define a Microdrenagem, como sendo o sistema de drenagem relativo com as vias locais, composto pelas sarjetas, bocas-de-lobo, poços de visita, redes e outros mecanismos para o recolhimento e transporte das águas pluviais. Sendo este último, o assunto abordado no decorrer deste trabalho.

FERNANDES (2009) aponta que no Brasil, institucionalmente, a infra-estrutura de microdrenagem é admitida como do domínio dos governos municipais que são obrigados ter total compromisso para determinar as atuações no setor, ampliando-se este compromisso para os governos estaduais, tendo em vista que crescem de relevância os quesitos de macrodrenagem, cuja relação principal para a organização são as bacias hidrográficas. Isto é, devem ser de responsabilidade da Prefeitura, as obrigações de infra-estrutura urbana essencial relacionada à microdrenagem e serviços correspondentes, incluindo-se terraplenagens, guias, sarjetas, galerias de águas pluviais, pavimentações e obras de contenção de encostas, para diminuição de ameaça à ocupação urbana.

3.4.1 Microdrenagem

A pavimentação e a abertura de vias, em uma cidade, ocasionam sempre na obrigação da efetuação de sistemas de microdrenagem, composto de mecanismos de absorção e de escoamento das águas pluviais. SÜETONIO (2012)

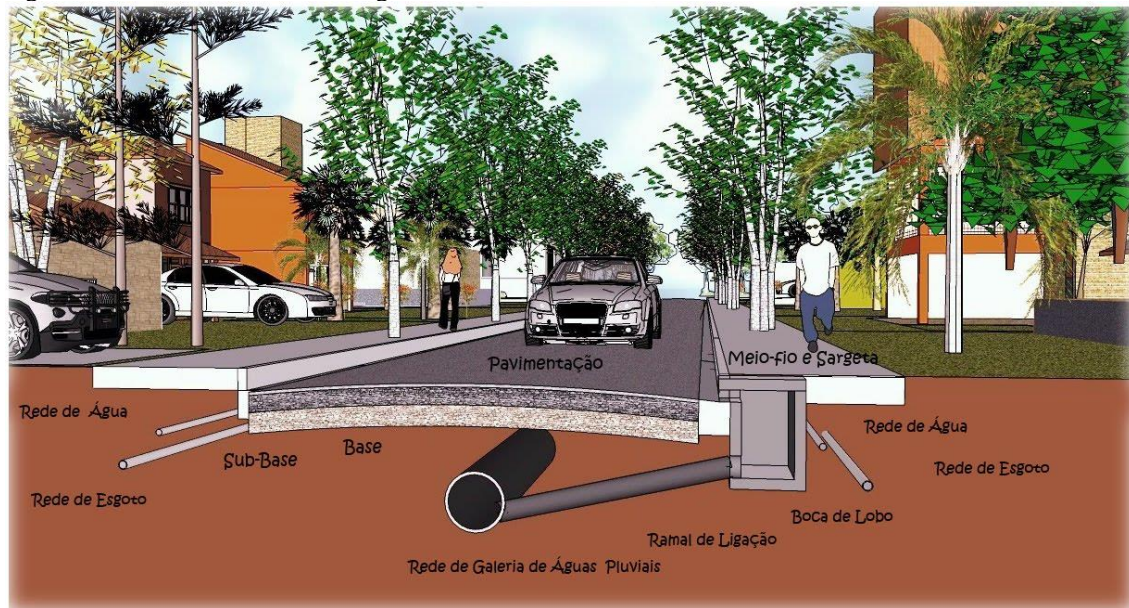
Segundo o CEAP (2017), a microdrenagem engloba recolhimento e distanciamento das águas superficiais ou subterrâneas por meio de pequenas e médias galerias, estabelecendo ainda parte do sistema todos os itens do projeto para que tal aconteça.

THOMAZ (2013) questiona que um dos grandes obstáculos de se descrever sobre microdrenagem no Brasil é que até o hoje não temos normas da ABNT. As cidades, Estados,

órgãos públicos, empreendedores utilizam parâmetros muito diferentes um dos outros, sendo trabalhoso e até impossível de se fazer uma uniformização.

O sistema de microdrenagem é composto por pavimentos das vias públicas, meio-fio, sarjetas, bocas de lobo e poços de visita, conforme figura 03.

Figura 03 - Sistema de Microdrenagem



Fonte: Sousa (2017)

SUETONIO (2012) ressalta que as águas que caem nos terrenos e nos telhados, quando não são absorvidas, transcorrem para as vias públicas, juntando-se nas laterais do pavimento, onde se localizam as sarjetas, as quais procedem para as bocas de lobo e, dessas, para as galerias de águas pluviais, percorrendo por caixas de ligação e poços de visita.

Conforme a USP (2000), o bom desempenho do sistema de microdrenagem se sujeita fundamentalmente da realização minuciosa das obras (pavimentos das ruas, guias e sarjetas, e galerias de águas pluviais), além de conservação e manutenção freqüente, com limpeza e desobstrução das bocas de lobo e das galerias antes dos períodos chuvosos.

3.5 Componentes de um sistema de drenagem de águas pluviais

FERNANDES (2009) define Greide como uma linha do perfil equivalente ao eixo longitudinal da superfície livre da via pública.

BOTELHO (2011) afirma que o percurso natural para o escoamento das águas pluviais urbanas é a calha da rua. Em certas ocasiões, quando a vazão que passa é maior à quantidade permitida de transporte de calha da rua, pode ocorrer inundações ou alagamentos, convém recolher essa vazão em excesso. Temos então que recolher parte das águas pluviais, utilizando mecanismos de captação.

BARROS (1999) define sarjeta como o conduto triangular longitudinal designado a receber e levar as águas superficiais da região pavimentada da via pública à boca de lobo ou sarjetão.

“As sarjetas são feitas de concreto simples, moldado in loco, ou são feitas de paralelepípedos argamassados.” BOTELHO (2011)

SUETONIO (2012) define sarjetas como divisas entre os pavimentos e as calçadas das vias públicas, que atuam como condutos triangulares abertos, por onde transitam as águas de chuva.

BOTELHO (2011) afirma que as sarjetas são utilizadas para firmar as guias e para elaborar o piso de escoamento de água. Através do alargamento da rua (declividade transversal), as águas escoam, especialmente, pelas sarjetas.

Para encontrar a capacidade das sarjetas temos o cálculo de Manning modificado por Izzard, representado pela equação 01:

$$Q = 0,375 \times \left(\frac{Z}{n}\right) \times i^{0,5} \times y^{8/3}$$

(Equação 01)

Onde:

Q = Vazão (em m³/s);

Z = Inverso da declividade transversal (em m/m);

I = Declividade longitudinal (em m/m);

y = Profundidade relativa a linha de fundo (em m);

n = Coeficiente de rugosidade do material;

É necessária a utilização da tabela 01 para obtenção do coeficiente de rugosidade devido características e tipo de material usado no local.

Tabela 01 - Coeficiente de rugosidade.

TIPO DE SARJETA OU PAVIMENTO	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE
Sarjeta em concreto bem acabada	0,012
Pavimento em asfalto com textura lisa	0,013
Pavimento em asfalto com textura áspera	0,016
Sarjeta em concreto e pavimento em asfalto com textura lisa	0,013
Sarjeta em concreto e pavimento em asfalto com textura áspera	0,015
Pavimento em concreto bem acabado	0,014
Pavimento em concreto mal acabado	0,016
Sarjetas com pequenas declividades onde os sedimentos se acumulam	0,02

Fonte: (TOMAZ, 2010)

Conforme WILKEN (1978), sarjetão é o conduto triangular normalmente encontrado em locais baixos do greide da via pública ou nos seus cruzamentos, designado a receber e guiar as águas superficiais à boca de lobo, ou a outra sarjeta.

BOTELHO (2011) afirma que o sarjetão é feito, de preferência, transversalmente à rua de menor movimento de veículos.

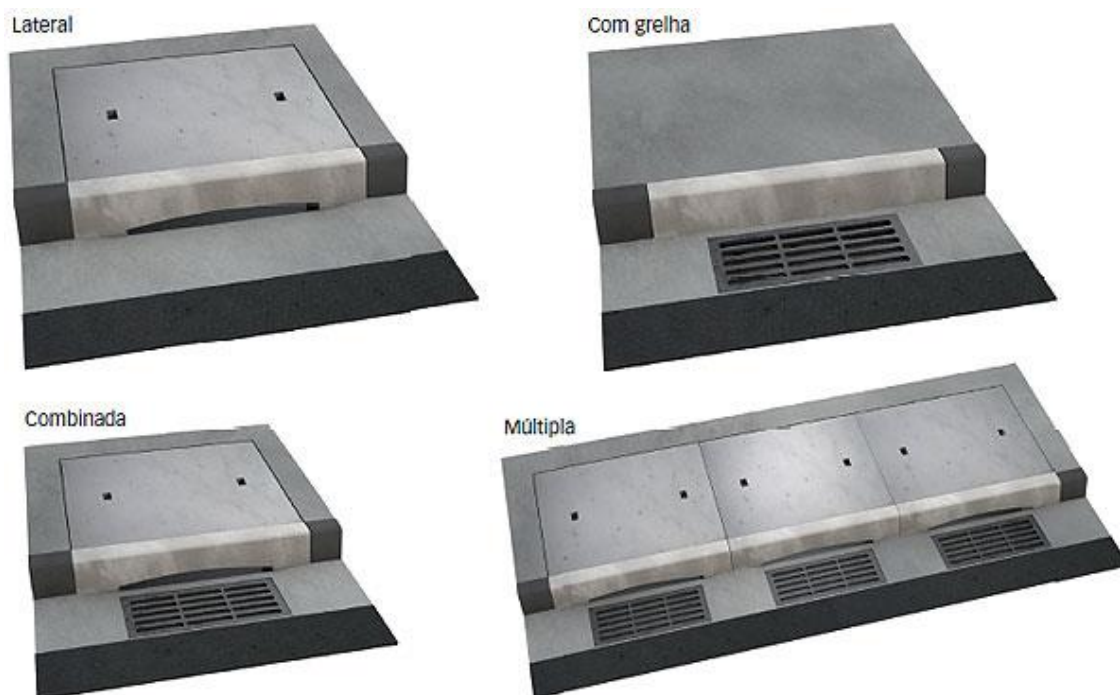
Ainda conforme BOTELHO (2011) a finalidade das guias é determinar as divisas da calçada e do leito carroçável. As guias são elaboradas de granito ou concreto simples (em geral pré-moldado). As guias aplicadas são chamadas de ‘meio fio’.

Segundo TUCCI (2002), o propósito dos projetos de drenagem é o escoamento das águas pluviais que se referem às águas oriundas das chuvas ficando em junção com a superfície urbana, colocado de maneira a captar o escoamento das chuvas com dano mitigado por meio de mecanismos denominados bocas de lobo, inseridas em guias ou nas sarjetas e subsequentemente são conduzidos por canais composto a rede de galerias de águas pluviais.

Conforme a USP (2000), boca de lobo é uma estrutura hidráulica designada a receber as águas superficiais, compondo-se de uma caixa de alvenaria ou pré-moldado de concreto posicionado sob a calçada ou sob a sarjeta. No primeiro caso, apreende águas superficiais por meio da abertura na guia chamada chapéu; no segundo caso, apreende águas superficiais através de uma grelha de ferro fundido.

Existem alguns tipos de bocas de lobo, sendo lateral, combinada, múltipla e com grelha, de acordo com a figura 04.

Figura 04 – Tipos de Boca de Lobo



Fonte: DER-SP, 2011 et al Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe (Cehop), 2011.

A boca de lobo lateral é adequada para a instalação em lugares intermediários em sarjetas com baixa declividade longitudinal (1% a 5%); quando se têm a existência de materiais obstrutivos nas sarjetas; em vias onde apresenta tráfego intenso e rápido e em montante dos cruzamentos. Já a boca de lobo com grelha é adequada para sarjetas com delimitação de depressão, quando não existem materiais obstrutivos; para disposição em pontos intermediários em ruas com alta declividade longitudinal (1% a 10%). Para a boca de lobo combinada é indicada em lugares baixos de ruas e pontos intermediários da sarjeta com declividade média entre 5% e 10%. A boca de lobo múltipla é aconselhada para lugares baixos e para as sarjetas com grandes vazões.

BOTELHO (2011) explica que as vazões em excesso, recolhidas em bocas de lobo, são então levadas aos poços de visita, e destes encaminham-se às canalizações fundamentais. As vazões nas principais tubulações lançam suas águas nos córregos e rios.

SUETONIO (2012) define bocas de lobo como estruturas de absorção das águas que transcorrem pela superfície, colocadas em vários locais das sarjetas, possibilitando o seu direcionamento às galerias.

Para a determinação da capacidade das bocas de lobo, para boca de lobo de guia com grelha é utilizada a equação 02.

$$Q = 1,7 \times P \times y^{(3/2)}$$

(Equação 02)

Sendo:

Q= vazão (em m³/s);

P= perímetro (em m);

Y= altura da lâmina (em m).

No momento em que a lâmina de água sobre o local for maior do que o dobro da abertura da guia, a vazão deverá ser calculada pela equação 03:

$$Q = 3,01 \times L \times h^{3/2} \times (y_1/h)^{1/2}$$

(Equação 03)

Onde:

Q = vazão de engolimento (em m³/s);

L = comprimento da abertura (em m);

h = altura da guia (em m);

y₁ = carga da abertura da guia = y – h/2;

Para as bocas de lobo combinadas, o cálculo é da mesma maneira da vazão pela grelha e pela guia somada.

Conforme CETESB (1980) é necessário ser observado os fatores para a redução da capacidade de escoamento, correspondente a obstrução parcial das bocas de lobo, segundo a tabela 02.

Tabela 02 - Fator de redução de escoamento

Localização na sarjeta	Tipos de boca de lobo	(%) permitida sobre o valor teórico
Ponto baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto intermediário	De guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou longitudinal com barras transversais	60 a 110% dos valores indicados para a grelha correspondente

Fonte: CETESB (1980)

Galeria é a tubulação que transporta as águas pluviais. BOTELHO (2011) determina para os parâmetros de cálculo que o diâmetro mínimo da canalização essencial seja de 400 mm privando-se assim a obstrução e entupimentos oriundos de resíduos jogados a boca de lobo.

Segundo BOTELHO (2011), calculam-se os condutos de maneira que o escoamento permaneça em regime permanente, ou seja, h , Q , V continuem inalterados correspondentes ao tempo e uniforme, inalterados ao longo do canal.

SUETONIO (2012) afirma que galerias de águas pluviais são tubulações receptoras das águas pluviais recebidas nas bocas de lobo, realizando a condução das mesmas para canais, cursos de água, lagoas, mar, etc. A vazão da galeria é calculada pela equação 04.

$$Q = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i} \times A_m$$

(Equação 04)

Onde:

Q = vazão (em m^3/s);

R_h = raio hidráulico (em m);

I = declividade (em m/m);

A_m = área molhada (em m^2).

Para calcular a velocidade é utilizada a equação 05.

$$V = \left(\frac{1}{n}\right) \cdot R H^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

(Equação 05)

Sendo:

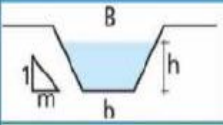
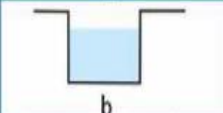
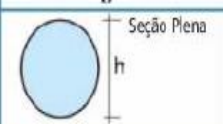
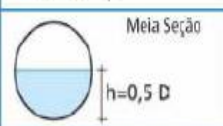

V= velocidade (m/s)

Rh= raio hidráulico (em m)

I=declividade (em m/m)

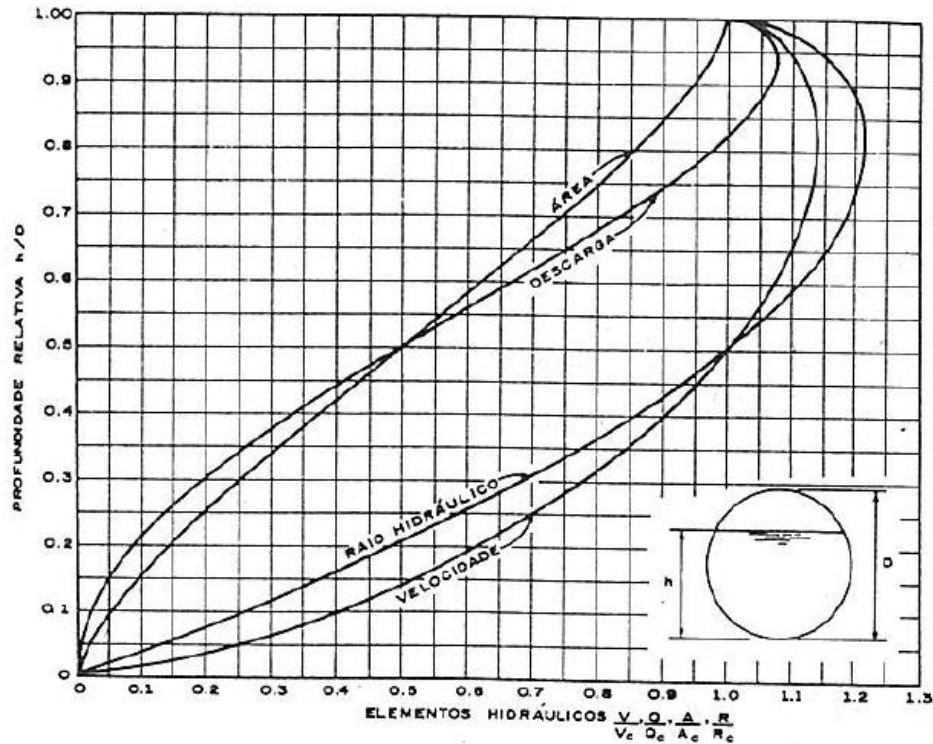
Para isto é necessário a utilização da figura 05 para encontrar a fórmula para o formato da galeria.

Figura 05–Fórmula para o formato da galeria.

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena h	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
 Meia Seção h=0,5 D	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
 Vazão Máxima h=0,94 D	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

Fonte: Vasconcelos, 2017.

É necessário também o uso do ábaco para a definição da relação y/D , de acordo com a figura 06.

Figura 06 – Ábaco para a definição da relação y/D 

Fonte: CETESB, 1980.

TOMAZ (2011), afirma que a declividade mínima desejável é de 0,5% para tubos maiores que 200 mm e 1% para tubos menores que 200 mm. O autor também deixa evidente que as velocidades mínimas deverão ser de 0,60m/s e a máxima de 5,00m/s, conforme tabela 03.

Tabela 03 – Declividade de galeria

Diâmetro (mm)	Declividade mínima (m/m)
300	0,003
350	0,0023
400	0,0019
500	0,0014
600	0,0011
700	0,0009
800	0,0007
900	0,0006
1000	0,0005
1200	0,0004

Fonte: (Matias, 2016. Apud. Universidade de São Paulo, 2015)

Segundo TOMAZ (2011), o raio hidráulico é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado, que é calculado através da equação 06:

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

(Equação 06)

Onde:

Rh = Raio hidráulico (em m);

Am = Área molhada (em m²);

Pm = Perímetro molhado (em m);

TUCCI (2005) define poço de visita ou poço de inspeção, como uma caixa de ou premoldado de concreto ou alvenaria que liga duas partes consecutivas de uma galeria e é capaz de obter os condutos de conexão das bocas de lobo. Pode ser vista por meio da chaminé.

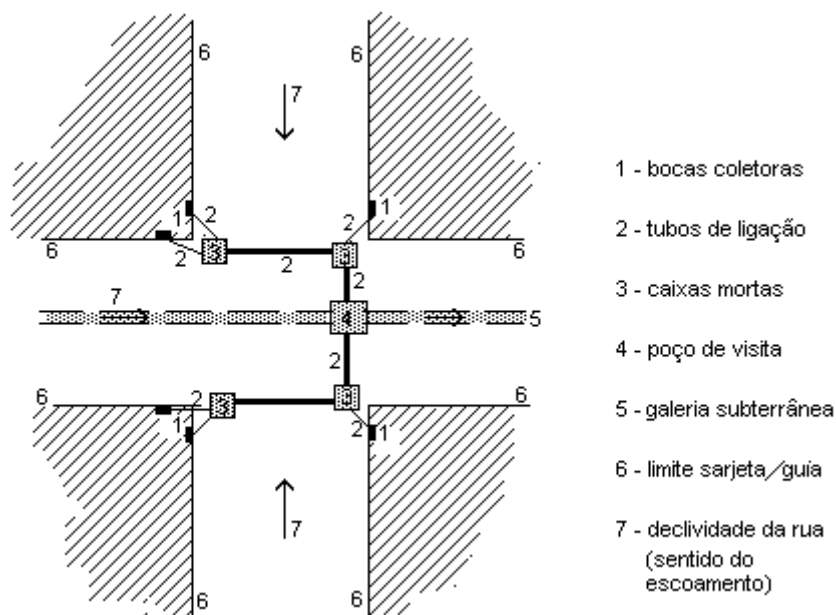
Poços de visita propiciam o caminho às canalizações, para finalidade de limpeza e averiguação. SÜETONIO (2012)

Segundo TUCCI (2005), caixa de ligação ou caixa morta “é uma caixa de alvenaria ou pré-moldado de concreto, que recebe os condutos de conexão das bocas de lobo e se liga, por conduto, à galeria. Não é visitável.”

SÜETONIO (2012) afirma que caixa de ligação são usadas para possibilitar a passagem da água às galerias, quando se faz obrigatória a distribuição de bocas de lobo intermediárias, ou para esquivar-seda chegada de mais de quatro tubulações em um poço de visita.

A figura 07 apresenta a disposição das unidades de drenagem.

Figura 07 - Posição das unidades de drenagem



Fonte: DAEE/CETESB (1980)

3.6 Estimativas da Vazão de Projeto

3.6.1 Método Racional

Segundo BOTELHO (2011), para bacias menores que 50 hectares ou com pouca complexidade utilizam-se o método racional para determinar as vazões de chuvas que precipitam nas ruas.

GRIBBIN (2014) ressalta que a aplicação predominante é o Método Racional, o qual dimensiona a vazão máxima para bacias pequenas de drenagem como pequenos fundos de vale e afluentes a menores estruturas de drenagem, como coletores de águas pluviais.

Para THOMAZ (2013), o método racional é o procedimento indireto e foi exposto pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado nos Estados Unidos por Emil Kuichling em 1889 e determina uma associação entre o escoamento superficial (deflúvio) e a chuva. O chamado método Racional é para rebater os métodos antigos que eram empíricos e não eram racionais. Na Inglaterra Lloyd-Davies fez método parecido em 1850 e diversas vezes o método Racional é conhecido como Método de Lloyd-Davies.

Já para GRIBBIN (2014), o método Racional é utilizado para dimensionar a vazão de pico, Q_p , depois de uma chuva. Ele não dimensiona o escoamento antes ou depois do pico, somente dimensiona a vazão maior formada por uma estabelecida bacia hidrográfica, conforme equação 07.

$$Q=0,278xCxIxA$$

(Equação 07)

Sendo: Q = vazão em (m³/s)

C = coeficiente de escoamento superficial “run-off”

I = intensidade da chuva em mm/h

A = área da bacia hidrográfica em km²

3.6.2 Método I-Pai-Wu Modificado

Conforme Tomaz (2010), o Método de I-PAI-Wu é o método Racional que possui algumas alterações, aceitando cálculos de bacias hidrográficas de 2 km² até 200km². Existem órgãos do Estado de São Paulo que recomendam a utilização deste método, embora não seja aceito por todos. O método utiliza a equação 08.

$$Q=0,278xCxIxA^{0,9}xK$$

(Equação 08)

Onde:

Q = vazão em (m³/s)

C = coeficiente de escoamento superficial “run-off”

I = intensidade da chuva em mm/h

A = área da bacia hidrográfica em km²

K = coeficiente de distribuição espacial da chuva

3.6.2.1 Coeficiente de forma C1

Segundo Kather (2006) em grandes bacias, o tempo de concentração é maior ao tempo de pico, pois a chuva que cai no ponto mais distante da bacia chegará tarde o fazendo com que não contribua para a vazão máxima. Assim em grandes bacias, deve-se considerar um valor de C1 menor que 1. Para o cálculo de C1 é utilizado a equação 09.

$$C1 = \frac{tp}{tc} = \frac{4}{(2+F)}$$

(Equação 09)

Onde:

tp= tempo de pico de ascensão (h)

tc= tempo de concentração (h)

F= fator de forma da bacia

Fator de forma da bacia, conforme Morano (2006)

$$F = \frac{L}{\sqrt{\frac{2xA}{\pi}}}$$

(Equação 10)

Sendo:

L= comprimento do talvegue (km)

A= área da bacia (km²)

F= fator de forma da bacia

Quando F=1 a bacia tem formato circular perfeito

F menor que 1 a bacia tem forma circular para elíptica e o seu dreno principal está na transversal da área.

F maior que 1 a bacia foge da forma circular elíptica e o seu dreno principal está na longitudinal da área.

$$C = \frac{2}{1+F} * \frac{C2}{C1}$$

(Equação 11)

C = coeficiente de escoamento superficial

C1 = coeficiente de forma da bacia (tp/tc)

C2 = coeficiente de escoamento volumétrico, função do grau de impermeabilidade do solo, cobertura ou tipo de solo e uso do solo.

F = fator de forma da bacia hidrográfica, relaciona a forma da bacia com um círculo de mesma área (mede a taxa de alongamento da bacia)

A = área da bacia hidrográfica em km²

L = comprimento do talvegue, em km.

3.6.2.2 Coeficiente C2

O coeficiente volumétrico de escoamento se dá através do grau de impermeabilidade da superfície conforme DAEE, São Paulo (1994). Podemos adotar C2=0,30 para grau baixo de impermeabilização; C2=0,50 para grau médio e C2=0,80 para grau alto conforme tabela 04.

Tabela 04 - Valores de C2

Grau de impermeabilidade do Solo	Cobertura ou tipo de Solo	Uso do Solo ou Grau de Urbanização	C2
Muito Baixo	- terreno seco e muito arenoso - terreno com vegetação densa - terrenos planos	- zonas verdes não urbanizadas - zonas de proteção de mananciais com vegetação densa - parques e áreas vazias	0,1
Baixo	- com vegetação rala e/ou esparsa - solo arenoso seco - terrenos cultivados	- zonas especiais (universidades, cemitérios, aeroportos, hipódromos)	0,3
Médio	- terrenos com manto fino de material poroso - solos com pouca vegetação - gramados amplos, prados e campinas - declividades médias	- zona residencial com lotes amplos (maiores que 1000 m ²) - zona residencial rarefeita	0,5
Alto	- terrenos pavimentados com declividades médias - solos argilosos ou pantanosos - terrenos rochosos estéreis ondulados - vegetação quase inexistente	- zona residencial densa com lotes pequenos (100 a 1000 m ²) - zona de apartamentos e edifícios comerciais	0,7
Muito Alto	- terreno pavimento com declividades fortes - terrenos de rocha viva não porosa - terreno estéril montanhoso - vegetação inexistente	- zona de concentração de prédios comerciais e/ou residenciais	0,9

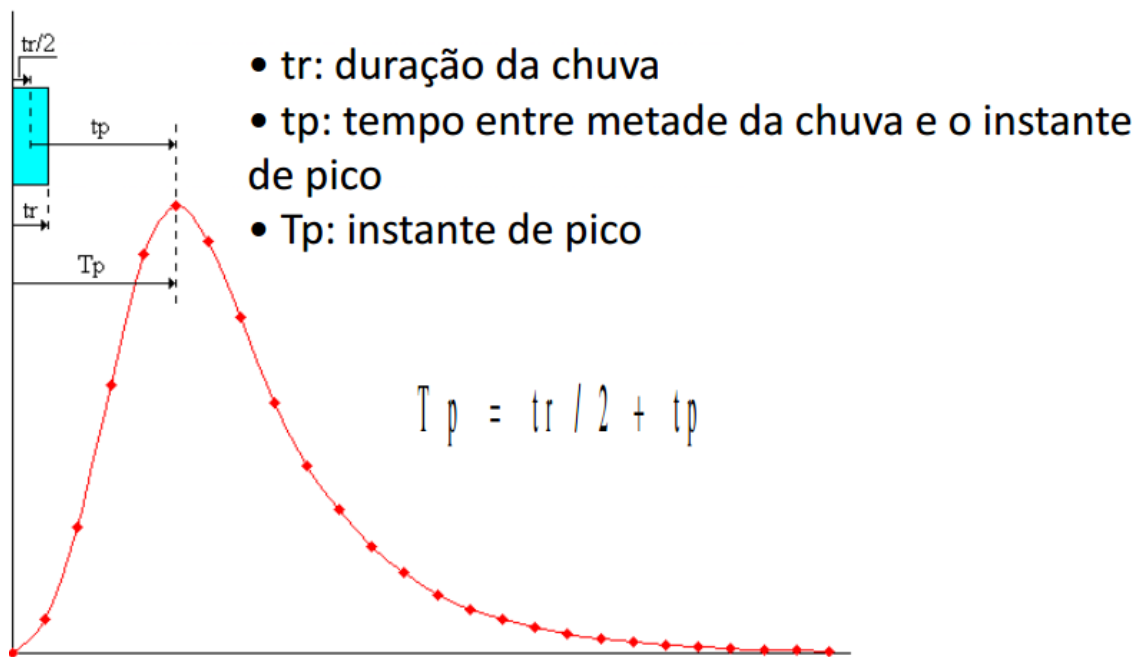
Fonte: (Marcellini, 2012 et al. Roberto, 2012 et al. Gusso, 2012 et al. Nakashima, 2012)

3.6.3 Método NRCS

O método NRCS é uma técnica para calcular um hidrograma sintético de vazão fundamentado em condições empiricamente estabelecidas produzido pelo Serviço de Conservação do Solo (SCS).

Com base em um estudo com várias bacias e de hidrogramas unitários nos EUA, técnicos do setor de conservação de solos do SCS notaram que os hidrogramas unitários as vezes são aproximados por relações de tempo e vazão pré-estabelecidas com base no tempo de concentração e na área das bacias. Para facilitar mais ainda, o hidrograma unitário pode ser aproximado por um triângulo, definido pela vazão de pico e pelo tempo de base. O adimensional apresenta forma mais suave como podemos observar na figura 08.

Figura 08 -Hidrograma unitário



Fonte: DAEE, 2011 et al –DPO, 2011 et al FCTH, 2011 et al LABSID, 2011

3.7 Coeficientes de escoamento superficial

TOMAZ afirma que O coeficiente “C” de escoamento superficial é também nomeado como coeficiente de deflúvio ou de coeficiente de runoff.

“Por definição coeficiente de runoff é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado.” (TUCCI,2000)

Para THOMAZ, o coeficiente de runoff precisa também do solo, pois a absorção diminui no mesmo momento em que a chuva continua, conforme as condições do solo. Influencia também o grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode acumular. O melhor coeficiente é aquele que se levou em conta a maior quantia de eventos que influenciam no valor de “C”.

Coeficiente de escoamento superficial: retrata a relação entre o volume que corre sobre a superfície do terreno e o volume precipitado. É expresso pela equação 12.

$$C = \frac{\text{Volume de água escoado superficialmente}}{\text{Volume precipitado}}$$

(Equação 12)

De acordo com a tabela 05, podemos definir os valores de “C”.

Tabela 05 - Valores de coeficiente de escoamento superficial

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas;	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas;	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas;	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas;	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arredores com pequena densidade de construções;	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978)

Conforme THOMAZ (2013), quando a bacia possui atividade muito variada deve ser utilizada a média ponderada, através da equação 13.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + \dots + C_i \cdot A_i}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i}$$

(Equação 13)

3.8 Período de retorno

FERNANDES (2012) nos informa que a chuva de projeto ou chuva máxima está relacionada a um período de retorno. A escolha do período de retorno (T) serve para concordar os fatores de segurança que é o risco de falha com os fatores econômicos os períodos de retorno altos estão ligados a chuva de projeto de grande intensidade e, por conseguinte obras superdimensionadas, inoportuna financeiramente.

O período de retorno necessita das características do projeto e dos possíveis danos que traria uma imprevisível falha, em que a vazão excedesse a vazão usada no cálculo. É calculado pela equação 14.

$$T = \frac{1}{P}$$

(Equação 14)

Período de retorno (T) é o período de tempo médio que um limitado evento hidrológico é equilibrado ou ultrapassado no mínimo uma vez. “É um critério essencial para a análise e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais, etc” (RIGHETO, 1998). Para determinar o período de retorno é sugerido:

- a) Bom senso
- b) Custos das obras
- c) Prejuízos finais.

A possibilidade de acontecer um evento hidrológico de uma análise é o inverso do período de retorno (MAYS, 2001). Expresso pela equação 15.

$$P = \frac{1}{T}$$

(Equação 15)

(Zahed e Marcellin, 1995) verificando os gráficos da variação da vazão de projeto com o período de retorno e gráficos do período de retorno com o gradiente da vazão, notaram também com muito domínio, que nem sempre a eleição de um período de retorno maior,

provoca uma ascensão no preço da obra, como se poderia presumir. Zahed e Marcellini em Drenagem Urbana (1995), afirmam que a eleição para os projetos de obras de drenagem urbana deve ser classificada segundo a natureza das obras a serem projetadas. Deve-se ter em vista os danos compreendidos quanto à proteção da população e as destruições materiais.

Conforme RIGHETTO (1998), a possibilidade de acontecimento de um fenômeno que coloque em risco a obra e todo o sistema fluvial a jusante de uma barragem durante um período de “n” anos de uso das instalações ou vida útil, é chamada como risco “R” é expressa pela equação 16.

$$R=1-\left(1-\frac{1}{T}\right)^n$$

(Equação 16)

Sendo:

T= período de retorno (anos);

n = número de anos de utilização das instalações ou vida útil;

R= risco (entre zero e 1).

A tabela 06 demonstra o tempo de retorno que se deve utilizar de acordo com a vida útil da obra.

Tabela 06 - Risco em função da vida útil e do período de retorno.

T (anos)	Vida útil da obra (anos)				
	2	2	25	50	100
2	75%	97%	99,9%	99,9%	99,9%
5	36%	67%	99,9%	99,9%	99,9%
10	19%	41%	93%	99%	99,9%
25	25%	18%	64%	87%	98%
50	40%	10%	40%	64%	87%
100	2%	5%	22%	39%	63%
500	0,4%	1%	5%	9%	18%

Fonte: Porto (1995)

A definição do período de retorno é um dos maiores problemas da hidrologia, razão pelo qual existem várias discussões sobre o assunto. Não podemos esquecer que primeiramente precisamos utilizar um padrão hidrológico apropriado que conceba menos erros. Deve ser escolhido o padrão hidrológico e a período de retorno o melhor permissível.

Usa-se para dimensionamento de micro drenagem $TR = 2$ a 10 anos.

A tabela 07 apresenta o tempo de retorno em anos de acordo com o tipo de obra e o tipo de ocupação da área.

Tabela 07 - Tempo de Retorno

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação da Área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços públicos	5
Microdrenagem	Aeroportos	2 a 5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5 a 10
Microdrenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 a 100
Microdrenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci (1995)

3.9 Tempo de concentração

Para PLINIO (2013) existem dois conceitos principais de tempo de concentração. Tempo de concentração é o tempo em que leva para que toda a bacia apontada colabore para o escoamento superficial na parcela em estudo. O tempo de concentração é o tempo que leva uma gota de água mais longe até a parcela considerada na bacia.

Para GRIBBIN (2014), o tempo de concentração é um critério importante para o dimensionamento da vazão máxima ou vazão de pico, Q . Se o escoamento leva muito tempo para alcançar ao exutório, a vazão de pico será menor, se levasse menos tempo. Com isso, se duas bacias de drenagem possuem a mesma área e cobertura de solo, mas diversas formas, elas possuirão tempos de concentração distintos.

O tempo de concentração é uma aferição do tempo preciso para o escoamento acontecer do ponto mais longe da bacia hidrográfica ao início da bacia.

Conforme Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo (CTH) os estudos de Taylor e Schwarz indicam que influenciam sobre o tempo de concentração: Área da bacia, comprimento e declividade do canal maior, comprimento durante o curso essencial, a partir do centro da bacia até a seção de saída apontada.

O real valor do tempo de concentração jamais será estabelecido (MCCUEN,1993). Muitos hidrólogos vão se deparar com valores distintos do tempo de concentração, razão pelo

qual, o tempo de concentração desperta imprecisão nos cálculos da vazão de pico, sendo necessário calcular por diversos métodos e verificar sempre. PORTO (1995) recomenda que sempre que puder deve-se usar o método cinemático para as partes canalizadas da bacia, já que as velocidades de escoamento precisam, extremamente, das particularidades da bacia.

Segundo AKAN (1993), a fórmula de Kirpich é muito utilizada na realização do Método Racional, especialmente na denominada fórmula de Kirpich do Tennessee. No Tennessee, Kirpich realizou pesquisas em seis bacias pequenas em áreas agrícolas próximo da cidade de Jackson. O território era coberto com árvores de zero a 56% e as áreas oscilavam de 0,5ha a 45ha. As bacias possuíam muita declividade e os solos eram bem drenados (WANIELISTA, 1997). A equação de Kirpich conforme Chin (2000), segundo equação 17.

$$t_c = 0,019 \times L \times \frac{0,77}{S \times 0,385}$$

(Equação 17)

Sendo:

t_c = tempo de concentração (minutos);

L = comprimento do talvegue (metros);

S = declividade do talvegue (m/m).

Segundo PORTO (1993), quando o valor de L for maior que 10.000m a fórmula de Kirpich desconsidera o valor de t_c . Segundo Chin (2000) a equação de Kirpich é geralmente empregada em bacias pequenas na área rural em áreas de drenagem menor que 80ha (oitenta hectares).

3.10 Fórmula Califórnia Culverts Practice

A maior utilidade desta fórmula é o simples alcance das informações, isto é, o tamanho do talvegue e a diferença de nível H (Porto, 1993). Usualmente é empregada em bacias rurais para áreas maiores que 1km². Dica: A fórmula Califórnia Culverts Practice é indicada pelo DAEE para barragens pequenas.

$$t_c = 57 \times L \times 1,155 \times (H - 0,385)$$

(Equação 18)

Sendo:

t_c = tempo de concentração (min);

L = comprimento do talvegue (km);

H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

3.11 Fórmula da Federal Aviation Agency

Esta fórmula foi criada para o emprego de drenagem em campos de aviação nos Estados Unidos (McCuen,1998). Foi utilizado na microdrenagem do Aeroporto Internacional de Guarulhos. É apropriado para bacias pequenas onde o escoamento superficial sobre o solo prevalece. O tamanho, inclinação e o coeficiente de Runoff são para o escoamento principal do talvegue. (FAA,1970)

$$t_c = 0,69 \times (1,1 - C) \times L \times 0,5 \times (S - 0,33)$$

(Equação 19)

Sendo:

t_c = tempo de concentração (min);

C = coeficiente de runoff do método racional para período de retorno de 5 a 10 anos. Varia de 0,1 a 0,95 aproximadamente.

L = comprimento (m) máximo do talvegue deverá ser de 150m;

S = declividade média (m/m)

3.12 Equação de Kerby (1959)

Para bacias muito menores (menor que 4ha) e quando o escoamento superficial prevalece, pode ser utilizado a fórmula de Kerby-Hathaway (MCCUEN, 1998).

Para determinar o coeficiente de rugosidade de retardação, utiliza-se a tabela 08.

Tabela 08 - Coeficiente de rugosidade de retardo

Tipo de solo	Coeficiente de rugosidade de retardo r
Pavimentos lisos	0,20
Gramado ralo	0,30
Gramado médio	0,40
Gramado denso	0,80

Fonte: Wanielistaet al., 1997. Adaptado de Kerby, 1959 in Chin, 2000.

$$t_c = 1,44 \times \left(r \times \frac{L}{S \times 0,5} \right) \times 0,467$$

(Equação 20)

Sendo:

t_c = tempo de concentração do escoamento superficial (min);

r = coeficiente de rugosidade de retardação, adimensional.

L = é o comprimento (m) do ponto mais distante, medido paralelamente a declividade até o ponto a ser alcançado onde $L < 365m$;

S = declividade (m/m). É aconselhável para declividades menores que 1%.

Para TUCCI (1995), o tempo de concentração é definido pela soma dos tempos de trechos distintos.

$$t_c = t_a + t_s$$

(Equação 21)

Onde:

t_c = Tempo de concentração do trecho anterior;

t_a = Tempo de concentração do trecho inicial;

t_s = Tempo de escoamento superficial;

Segundo CARVALHO et al. SILVA (2006) o escoamento superficial compreende a partir da precipitação excedente que acontece posteriormente uma chuva forte e se conduz livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser sustentado tanto pelas águas subterrâneas como pelo excesso de precipitação.

Para TUCCI (1995), é usada a fórmula de tempo escoamento superficial para determinar o tempo em que uma gota de água precisa para seguir o percurso de maior comprimento até a boca de lobo mais longe em minutos, conforme equação 16.

$$t_s = \frac{16L}{(1,05 \times 0,2 P)(100 \times I_m)^{0,04}}$$

(Equação 22)

Onde:

L = Comprimento em linha reta entre o divisor mais distante da seção analisada (em km);

P = Área verde (em m²);

I_m = Inclinação média da bacia (em m/m);

3.13 Pluvio

O software Plúvio 2.1 utiliza dados de chuvas excessivas pelo método inverso, e dentre as 28 combinações de interpolação, o método tem mostrado melhores resultados na estimativa da intensidade média de precipitação, criado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Utiliza-se a equação 23 para encontrar a intensidade de precipitação.

$$I = \frac{K \cdot T^a}{(t+b)^c} = \text{mm/h}$$

(Equação 23)

Onde:

I = é a intensidade máxima média de precipitação em mm;

T = representa o tempo de retorno da chuva em anos;

K, a, b, c = são parâmetros locais obtidos por regressão não linear, com base nas informações extraídas de pluviogramas;

t = é o tempo de duração mínima (min).

3.14 Área de drenagem

GRIBBIN (2014) afirma que para todos os cursos d'água, uma área bem estabelecida retém a chuva e a guia até o curso d'água. Essa área é chamada bacia hidrográfica, bacia de drenagem ou área de captação,

Princípios importantes para se delinear uma bacia de drenagem:

- Desenhe o divisor perpendicular às linhas de contorno (quando as linhas de contorno representam uma curva de nível e a respectiva cota topográfica).
- Desenhe o divisor ao longo das cristas das elevações (colinas ou montanhas).
- Nunca desenhe o divisor ao longo de ou através de uma baixada.
- Desenhe o divisor entre duas curvas de nível de mesma cota topográfica e paralelo a elas.
- Quando estiver em dúvida sobre a linha do divisor da bacia, faça um teste imaginando uma gota de chuva caindo perto da linha; então, trace o caminho do escoamento seguido pela gota. Se a gota escoar em direção ao exutório da bacia, ela caiu dentro da bacia. (Quando escoar em declive, a água segue perpendicularmente às curvas de nível).

4 MATERIAL E MÉTODO

O estudo será realizado na Avenida Sete de Setembro, bairro centro, em Três Corações-MG. O local apresenta pontos de alagamento próximo ao Estádio Municipal Elias Arbex, sendo estes, os mais preocupantes e críticos da bacia.

A figura 09 apresenta o ponto crítico da bacia em estudo.

Figura 09 - Área em estudo



Fonte: Google Earth, 2017 adaptado pela autora.

Para a realização deste trabalho serão necessários realizar pesquisas em artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso, livros, revistas e sites, a fim de ampliar os conhecimentos teóricos e técnicos sobre drenagem, dando ênfase para a microdrenagem.

Decidiu-se desenvolver o estudo de caso proporcionando a análise das estruturas de drenagem presentes, afim de soluções cabíveis.

O estudo será composto por uma análise embasada no sistema de microdrenagem presente associando com as orientações técnicas. Na área de drenagem serão analisadas as áreas de contribuição da bacia, determinadas pela topografia do terreno, para isso foram usados alguns softwares como o AUTO CAD 2014, que possibilitou a subdivisão da bacia de acordo com a descrição do local estudado, ou seja, a designação das áreas pertencentes aos lotes habitacionais, comerciais, áreas verdes e pavimentadas.

Para encontrar a área de estudo foi empregado o Google Earth, na qual se localiza a Avenida Sete de Setembro onde representa o local estudado, com índices de alagamentos consideráveis.

Para encontrar o escoamento superficial usou-se o Global Mapper, o qual gerou as curvas de nível de metro a metro e averiguação da bacia hidrográfica.

Para a realização deste trabalho serão utilizadas equações e tabelas apresentadas no referencial teórico, bem como análises do local levando em consideração os pontos de alagamentos e avaliação das instalações de micro drenagem presentes no local.

A duração da chuva ou tempo de concentração representa em minutos a duração da precipitação, devendo ser acrescido a este o seu tempo morto para o escoamento de 10 minutos, segundo equações 21 e 22.

Devido à precisão do software Pluvio, o mesmo será utilizado para os cálculos da intensidade conforme equação 23.

Com todos os cálculos acima efetuados, poderemos utilizar o método racional para o dimensionamento da vazão pluvial, por meio da equação 07.

Após calcular a declividade longitudinal e transversal da avenida, será utilizada a tabela 01 para encontrar o coeficiente de rugosidade para que se possa calcular a vazão da sarjeta, utilizando o cálculo de Manning modificado por Izzard, através da equação 01.

Para a bacia em estudo utilizaremos $TR = 5$ anos por se tratar de uma região com comércio e tráfego intenso, conforme tabela 07.

Para a determinação das galerias pluviais, serão utilizadas a equação 04, a figura 05 para o formato da galeria e o ábaco da figura 06.

Para o dimensionamento das galerias e tubulação secundária utilizou-se a fórmula de Manning, a fim de determinar seu diâmetro, e possível verificação da velocidade de escoamento conforme a equação 05.

Para a determinação da capacidade das bocas de lobo, dimensões e características obtidas pela realização da visita “*in loco*”, já que as mesmas são com grelhas, será utilizada a equação 02.

Com o intuito de diagnosticar os motivos das cheias urbanas na Avenida Sete de Setembro, foram feitas visitas técnicas e pesquisas, buscando medidas significativas e que melhor se adequam ao local a fim de possibilitar condições de estabilidade pluvial e amenizar os impactos ambientais causados pelo sistema de drenagem precário do local. A visita *in loco* permitiu encontrar as bocas de lobo existentes, e contextualização do problema, bem como

designar coeficientes, medições e discretização do problema local. Para o entendimento do comportamento da bacia contribuinte, foi necessária a caracterização física da bacia através de estudos, e referencial teórico para que se comprovasse a necessidade de avaliação do sistema de drenagem existente no Bairro Centro em Três Corações-MG. Com base nos dados levantados em campo e a partir das diretrizes técnicas citadas em livros e manuais sobre drenagem será possível identificar os problemas na estrutura existente, e assim propor soluções para um sistema eficiente.

Todas essas pesquisas feitas ajudaram para o conhecimento de saneamento, hidrologia, drenagem e microdrenagem.

A caracterização da área de drenagem foi feita através do software Mapper e o Google Earth, visto que não foram encontrados levantamentos topográficos da região em estudo.

Através das equações acima com as aplicações necessárias do projeto será possível fazer um diagnóstico do sistema comparando a capacidade de vazão instalada com a capacidade de vazão real e propor uma solução para melhorar o sistema existente.

5 RESULTADOS

Depois da análise das fórmulas a serem usadas através do referencial teórico, apresenta-se os resultados, identificando os possíveis motivos dos problemas.

5.1 Características físicas da bacia em estudo

A bacia recebe intenso tráfego de automóveis devido por estar localizada no centro comercial próximo a um estádio de futebol.

Conforme o estudo realizado “*in loco*”, foi encontrado um canal que atravessa a bacia. Pôde-se perceber a existência de macrodrenagem e microdrenagem. Portanto, com a realização de novos estudos e análises, foi verificado que a área desta bacia estava sendo drenada pelo sistema de microdrenagem, já que o sistema deste estava conduzindo a água para o canal. Toda água pluvial que passa pelas bocas de lobo, chega no canal existente, o qual já é seu destino final (Figura 10). Por essas características, o sistema que será proposto uma solução será o de microdrenagem.

Figura 10 - Canal



Fonte: a autora.

Para dar início ao estudo de uma solução para o problema existente, as áreas da bacia de contribuição que já estavam sendo drenadas foram desconsideradas. Esta análise foi feita através de visita *in loco*, onde foi verificado para qual direção as bocas de lobo estavam

conduzindo a água. Com isso, foi realizada uma nova delimitação para a área de contribuição, conforme anexo A.

Os elementos do sistema de microdrenagem que foram encontrados na bacia de contribuição são: bocas de lobo com grelha, poços de visita, sarjetas de concreto e galerias. Esse sistema não apresenta sarjetões, fazendo com que toda a água seja percorrida de margem a margem.

5.2 Caracterização do sistema existente

5.2.1 Bocas de Lobo

Com o estudo feito no local, foram encontradas 127 bocas de lobo na bacia de contribuição, sendo todas essas com grelha.

A maioria das bocas de lobo da bacia de contribuição estão obstruídas, fazendo com que tenha uma perda de eficiência na capacidade de engolimento das mesmas. (Figura 11 e 12)

Figura 11: Boca de lobo obstruída



Fonte: Do Autor (2017).

Figura 12: Boca de lobo obstruída.



Fonte: Do Autor (2017).

5.2.2 Sarjetas

No estudo realizado “*in loco*”, nota-se que as sarjetas da bacia de contribuição estão obstruídas e apresentam diversos tamanhos. A maioria delas foram feitas do mesmo material da pavimentação das vias e, algumas delas foram feitas de concreto, conforme mostra a figura 13.

Figura 13: Sarjeta com redução nas dimensões.



Fonte: Do Autor (2017)

5.2.3 Galeria

Esta bacia apresenta galerias que passam por várias ruas e inclusive por baixo de residências. Para determinar o percurso delas foi analisado o posicionamento das bocas de lobo. De acordo com a prefeitura, as dimensões dessas galerias são de 600mm.

Os órgãos municipais não possuem o projeto do sistema de drenagem existente. Portanto, os dados foram levantados através das visitas “*in loco*” e, por meio de softwares como Global Mapper e Google Earth. Após isto, torna-se possível introduzir a verificação do sistema atual e do dimensionamento de um sistema que atenda a vazão excedente da bacia de contribuição.

Figura 14: Início da galeria



Fonte: a autora.

5.2.4 Poço de visita

Pôde-se notar que a bacia apresenta poços de visita com 600mm de diâmetro e 1,0 metro de profundidade nas ruas: Edson Arantes do Nascimento, José Henrique da Costa, João XXIII e Catelo Branco. Estes poços de visita estão em funcionamento nas mesmas ruas que as galerias. (Figura 15).

Figura 15: Poço de visita



Fonte: Do Autor (2017)

5.3 Considerações feitas no local de estudo.

Após a realização das visitas e baseando-se em critérios estabelecidos em referências bibliográficas, verificou-se que o sistema existente de microdrenagem é incapaz de suportar a vazão da bacia, ou seja, a vazão de demanda, devido ao mau dimensionamento das bocas de lobo e sarjeta.

A avenida apresenta bocas de lobo e sarjetas obstruídas. Há um excesso de asfalto nas sarjetas, fazendo com que a água não escoe adequadamente.

É importante ressaltar que a bacia não apresenta sarjetão.

Devido ao crescimento desordenado da cidade o sistema de microdrenagem tornou-se incapaz de suportar a vazão existente na bacia de contribuição em estudo.

Com base nas referências estudadas e após verificar que o canal está drenando parte da bacia de contribuição, será calculado novamente a vazão de demanda da bacia de contribuição, com tempo de retorno de 5 anos para que possa ser feito um novo dimensionamento do sistema de microdrenagem que atenda a nova vazão estabelecida.

A bacia de contribuição foi dividida em sub bacias para o cálculo de margens direita e margens esquerda. As áreas das sub bacias foram obtidas através do AutoCad 2014, segundo apresentado no apêndice B.

5.4 Cálculos hidrológicos

5.4.1 Cálculo da declividade do curso d'água

A declividade do curso d'água da bacia em questão é apurada segundo a Equação 24.

$$Si = \frac{896-888}{821,57m} = 0,0097m/m$$

(Equação 24)

5.4.2 Definição do tempo de retorno

A bibliografia técnica oferece diferentes tempo de retorno para cada tipo de ocupação da área da bacia contribuinte. Foi adotado um tempo de retorno que atendesse de forma satisfatória as máximas precipitações ocorridas na cidade de Três Corações-MG, sendo de 5 anos, pois a bacia de contribuição está situada na área central e abrange as principais vias da cidade. Vale indicar que quanto maior o tempo de retorno, maior será a proteção oferecida a população, evitando impactos advindos das inundações.

5.4.3 Comprimento do talvegue principal

O comprimento do talvegue principal foi obtido é de 821,57 Km. Este valor foi obtido através do AutoCad 2014, onde considerou-se o caminho mais longo que a água transcorre até o ponto mais baixo da bacia em estudo.

5.4.4 Cálculo do tempo de escoamento superficial

O tempo de escoamento superficial foi obtido através da Equação 25.

$$t_s = \frac{(16 \times 0,82157)}{((1,05 - 0,2 \times 1,28) \times (100 \times 0,0097)^{0,04})} = 16,57$$

(Equação 25)

5.4.5 Cálculo do tempo de concentração

O tempo de concentração foi determinado através da Equação 26.

$$t_c = 16,57 \text{ min} + 10 \text{ min} \rightarrow t_c = 26,57 \text{ min}$$

(Equação 26)

5.4.6 Parâmetros da equação da chuva

Foi utilizado o *software* Plúvio desenvolvido pela UFV em 2008 para definir os parâmetros da equação da chuva para a cidade de Três Corações.

5.4.7 Cálculo da intensidade da precipitação

Para determinar a intensidade da chuva utilizou-se a Equação 27.

$$I_m = I = \frac{6057,951 \cdot 5^{0,220}}{(26,57 + 32,867)^{1,090}} = 117,11 \text{ mm/h} = 0,000036 \text{ m/s}$$

(Equação 27)

5.4.8 Quantitativo de áreas

A Tabela 9 aponta o quantitativo das áreas na bacia de contribuição em estudo. Utilizou-se o *AutoCad* 2016 para realizar o levantamento das áreas.

Tabela 9 - Quantitativo de áreas

Tipo de área	Área (m ²)
Área residencial - Unidade múltipla (separadas)	111989,986
Área de ruas com superfície em pavimentação asfáltica	45839,02
Área institucional	12877,129
Área verde	12892,073
Σ áreas	183598,208

Fonte: A autora (2017)

5.4.9 Cálculo do coeficiente de runoff médio

O cálculo do coeficiente de *runnof* médio é dado pela Equação 28.

$$C = \frac{(0,60 * 111989,986) + (0,95 * 45839,02) + (0,70 * 12892,073) + (0,20 * 12877,129)}{183598,208}$$

(Equação 28)

5.4.10 Cálculos hidráulicos

Pôde-se perceber que há uma vazão excedente em grande parte das sarjetas. A bacia não suporta a vazão recebida e as bocas de lobo não estão engolindo toda água pluvial, fazendo com que tenha a necessidade de inserir novas bocas de lobo. A quantidade a ser inserida consta no anexo B.

As velocidades foram verificadas e todas estão de acordo as recomendações dos autores citados no referencial teórico, sendo mínima de 0,6m/s e máxima de 6,0m/s. Os demais cálculos constam no apêndice A.

5.4.11 Quadro de áreas da bacia de contribuição

A bacia de contribuição foi dividida em sub bacias. As áreas das sub bacias foram obtidas através do AutoCad 2016 e constam no apêndice A.

5.4.12 Levantamento de custo

Segundo a AACE, Associação para o desenvolvimento da Engenharia de Custo (2016) fazer estimativa de custo direto é a predição de custo de um projeto, conforme um determinado escopo documentado, a ser efetivado em uma localização estabelecida e num tempo futuro.

Conforme Cardoso (2009), orçamento é um documento de suma importancia em qualquer estudo preliminar ou de viabilidade. Uma obra iniciada sem a definição do seu custo ou dos recursos imprescindíveis, pode resultar numa obra incompleta.

A planilha orçamentária se encontra no Apêndice C.

6 CONCLUSÃO

Conforme a análise apresentada no referido trabalho de conclusão examinou-se as causas das danificações do sistema de drenagem, uma vez que as bocas de lobo mostraram irregularidades quanto ao mau funcionamento dos dispositivos de condução da água pluvial. Como visto a observação de dados distintos ao sistema foi vital na busca pela vertente adequada. Desta forma, verificando o comportamento hidráulico dos dispositivos de coleta existentes, foi possível detectar a falha ao qual o mesmo se encontrava, sob condições frágeis de operação e ausência de manutenção. Sendo assim é perceptível que o sistema atual não consiga atender a exigência. Desta forma torna-se visível a obrigação de inserção de novas bocas de lobo e adequação das sarjetas em toda área da bacia.

Vale lembrar que o planejamento urbano colabora significativamente para o controle de enchentes e inundações, uma vez que se determinam o acúmulo de lixo e resíduos nas ruas. Todavia, o fator agravante deste estudo é justamente a localização do objeto de estudo, sendo que este se encontra em uma região onde se encontra a maior parte do comércio local, o que transforma o projeto de intervenção em um grande desafio, pois as obras devem impactar o mínimo possível na vida dessas pessoas. Entretanto, a presença de edificações sobre o trajeto da galeria faz com que a elaboração de um novo traçado seja a solução mais viável para o problema em questão.

Os objetivos propostos foram cumpridos. Com os conhecimentos adquiridos durante a vida acadêmica e com base em referenciais teóricos, foi possível analisar, verificar, avaliar e dimensionar todos os elementos do sistema de microdrenagem para ser apresentado um projeto capaz de solucionar o problema existente.

Este projeto, apresenta modificação no sistema de drenagem atual, o qual tudo que foi realizado está embasado em referenciais. Os elementos que estão funcionando corretamente serão mantidos. Os que não estão funcionando corretamente, mas que possuem tal capacidade para isso, necessitarão apenas de manutenção. Porém, haverá a necessidade também de inserir novos elementos como por exemplo, bocas de lobo. Afinal, cabe-nos como futuros engenheiros encarregar a relevância dos inconstantes fatores que afetam no sistema de drenagem urbana, bem como incluir as singularidades que o mesmo abrange, aplicando os conhecimentos obtidos no tempo acadêmico para consideração do sistema de drenagem do lugar em estudo e estabelecer parâmetros anexados a obtenção de soluções eficientes.

REFERÊNCIAS

AKAN, A. OSMAN. **Urban Stormwater Hydrology**. Technomic, 1993, 268 páginas.

BOTELHO, Manoel. **Águas de chuva**: Engenharia das águas pluviais nas cidades. 3. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

BRZESKY, Devair. **Análise da incidência de doenças transmitidas por veiculação hídrica no distrito de Jacaraípe e Nova Almeida, Serra, ES**. 89 f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento de Geografia, Universidade Federal do Espírito Santo, 2006.

CARVALHO, Daniel et al. **Irrigação e Drenagem**. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

CARVALHO, Daniel ; MELLO, Jorge; SILVA, Leonardo. **Irrigação e Drenagem: Hidrologia**. Rio de Janeiro: [s.n.], 2007. 86 p. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/jorge/downloads/APOSTILA/LICA%20Parte%201.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

CHIN, DAVID A. **Water resources Engineering**. Prentice Hall, 2001. 749 páginas.

CREA MG. 2013. **Manejo de águas pluviais: termo de cooperação técnica**. Disponível em: <<http://www.crea-mg.org.br/funasa/uas%20pluviais.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

DAEE/CETESB, **Drenagem Urbana- Manual de Projeto**, 2ª ed, 1980, São Paulo, DAEE, 468 páginas.

FERNANDES, Carlos - "**Esgotos Sanitários**", Editora Universitária da UFPB, 1997.

GARCEZ, L. N. - "**Elementos de Engenharia Hidráulica e Sanitária**", Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1969.

FERRAZ, Marcelo. **Saneamento: questão de vida ou morte!**. Disponível em: <<http://www.folhamax.com.br/imprime.php?cid=113324&sid=5>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

FONSECA, Julio; DER, SP; CEHOP, Companhia Estadual de Habitação e Obras Públicas de Sergipe. **Bocas de lobo: Tipos de boca de lobo**. Disponível em: <<http://infraestruturaurbana.pini.com.br/solucoes-tecnicas/8/2-bocas-de-lobo-como-planejar-o-posicionamento-das-239376-1.aspx>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

GIRÃO, L. F. O.; SIMÕES, N. E. C.; MARQUES, J. A. A. S.; LEITÃO, J. P. C.; PINA, R. D. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **EngSanitAmbient**, Coimbra, v.22 , n. 2, mar./abr. 2017.

GRIBBIN, John E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. São Paulo: Cengage Learning, 2014. xiii, 526 p. ISBN 9788522116348

IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa e estatística**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/pesquisas/pesquisas.php>>. Acesso em: 27 mar. 2017.

JABÔR, Marcos Augusto. **Drenagem de rodovias: estudos hidrológicos e projeto de drenagem**. [S.l.]: [s.n.], 2012. 147 p.

MARQUES, José Alfeu et al. **Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos**. 2016. 12 f. Artigo Técnico (Engenharia Sanitária e Ambiental)-Universidade de Coimbra, Portugal, 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522017005001108>. Acesso em: 02 abr. 2017.

MCCUEN, RICHARD H. Hydrologic analysis and design. 2a ed. New Jersey, Prentice Hall, 814p.

MICHAELIS. Dicionário. **Hidrologia**. São Paulo: Melhoramentos, 2017. 520 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Governo Federal. **Ciclo Hidrológico**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/agua/recursos-hidricos/aguas-subterraneas/ciclo-hidrologico>>. Acesso em: 30 mar. 2017.

MOTA, Suetônio. **Introdução à Engenharia Ambiental**. 5. ed. São Paulo: ABES, 2012.

NICKLOW, JOHN W. **Design of stormwater inlets**. In Mays, Larry, **Stormwater collection systems design handbook**, 2001.

OMS, ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Projetos e programas**. Disponível em: <http://www.paho.org/bra/index.php?option=com_pronpro&view=pronpro&Itemid=846>. Acesso em: 27 mar. 2017.

ONU, Nações Unidas. **Investimentos dos países em saneamento não estão sendo suficientes**. Disponível em: <<https://nacoesunidas.org/investimentos-dos-paises-em-saneamento-nao-estao-sendo-suficientes-alerta-relatorio-da-onu/>>. Acesso em: 22 mar. 2017.

Ramos., C.L; Barros, M.T.L.; Palos, J.C.F., coord. (1999) - **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no Município de São Paulo. Prefeitura do Município de São Paulo e fundação centro tecnológico de hidráulica - CTH, SÃO PAULO**. Documento disponível em <http://www.fcth.br/public/cursos/canaismares/md.pdf>

SANEAMENTO . 7217 n. 11445, de 30 de maio de 2017. **SANEAMENTO BÁSICO**. legislação. Brasília, p. 1-10, jan. 2007. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm>. Acesso em: 27 mar. 2017.

SOUSA, Rodrigo. **Esquema de drenagem urbana**. Disponível em: <<http://aquafluxus.com.br/wp-content/uploads/2011/07/post2-300x198.jpg>>. Acesso em: 03 abr. 2017.

SOUZA, Matheus. **Drenagem Urbana: Clássica x Sustentável**. Disponível em: <www.aquafluxus.com.br/drenagem-urbana-classica-x-sustentavel/>. Acesso em: 10 mai. 2017.

SOUZA, Ricardo. **Análise de utilização de reservatórios de contenção de cheias em edificações e o seu impacto no sistema de drenagem urbana**. 117 f. Trabalho de conclusão de curso – Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013.

SOUZA, Ricardo Cesar; FREIRE, Flávio Bentes; MANNICH, Michael. **Análise da utilização de reservatórios de contenção de cheias em edificações e o seu impacto no sistema de drenagem urbana**. 2013. 117 f. TCC (Engenharia de Produção Civil)- UTFPR, Curitiba, 2013. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2129/1/CT_EPC_2013_1_02.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2017.

SUETÔNIO, Mota. **Introdução à engenharia ambiental**. 5. ed. Rio de Janeiro: Abes, 2012. 524 p. ISBN 9788575639504.

THOMAZ, Plinio. **Curso de Manejo de águas pluviais: Bueiros ou travessias**. São Paulo: [s.n.], 2015. 152 p. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/bueiros_travessia/capitulo_07_Bueiros_ou_travessias.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2017.

THOMAZ, Plinio. **Fórmula de Manning e canais**. São Paulo: [s.n.], 2013. 70 p. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_canais/capitulo50.pdf> Acesso em: 08 abr. 2017.

TUCCI, Carlos. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 1. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1993.

TUCCI, C.E.M. (2005). **Gestão das inundações urbanas**. Unesco - Global WaterPartnersip. Documento disponível em <http://www.sedur.ba.gov.br/pemapes/pdf/material_tecnico/Manual_Gestao_Inundacoes_Urbanas_Tucci_2005.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2017.

USA, COUNCIL OF SCIENCE AND TECHNOLOGY, COMMITTEE FOR SCIENTIFIC HIDROLOGY; TUCCI, Carlos. **Hidrologia**. [S.l.: s.n.], 1962. 33 p. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap1-INTRO.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2017.

WILKEN, P.S. (1978) - **Engenharia de drenagem superficial**. São Paulo, CETESB. 477 p. USP, FAU. **Microdrenagem Urbana**. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/cursos/graduacao/arq_urbanismo/disciplinas/aut0192/Aula_aut-0192-microdrenagem.pdf>. Acesso em: 03 abr. 2017.

APÊNDICE A

7 PROJETO

7.1 MEMORIAL DESCRITIVO

7.1.1 Localização da bacia

A área da bacia de contribuição localiza-se no centro da cidade de Três Corações-MG.

7.1.2 Apresentação

O presente memorial contém a segunda etapa do TCC (Trabalho de Conclusão de Curso), para a solução do problema de microdrenagem que está localizado na área central da cidade de Três Corações-MG, cuja bacia apresenta o exutório na Avenida Sete de Setembro.

O objetivo deste memorial descritivo é exibir a metodologia de cálculo empregada no projeto de microdrenagem na bacia de contribuição referente à Avenida Sete de Setembro.

Este estudo constitui-se na realização de pesquisas bibliográficas e de campo, onde a bacia contribuinte foi caracterizada e diagnosticada. Através de visitas *in loco*, foram levantados todos os elementos hidráulicos do sistema de microdrenagem.

O sistema de microdrenagem atual é insatisfatório, apresenta os seguintes elementos hidráulicos: sarjetas, galerias, bocas de lobos com grelhas de diversos tamanhos e poço de visita. Não existem sarjetões. A inexistência desses instrumentos, juntamente com as condições de conservação e manutenção dos elementos existente, contribuem para a ineficiência da bacia em estudo.

Com isso, justifica-se a obrigação da realização de um projeto, pois nos períodos com elevados índices pluviométricos o local de estudo passa por diversos problemas de inundações, causando danos para a população. A finalidade desse projeto é diminuir e resolver a situação descrita acima, minimizando os impactos ocorridos da precariedade desse sistema.

7.1.3 Concepção de projeto

Para a realização deste trabalho foram utilizados livros, mapas disponibilizados pela Prefeitura Municipal de Três Corações e softwares como o *Google Earth*, *Plúvio*, *AutoCad 2014* e *Excell*. Visitas *in loco* foram realizadas com o objetivo de averiguar e examinar a situação do sistema de microdrenagem existente.

A bacia de contribuição foi demarcada por meio de cristas das curvas de nível, contidas em um mapa da cidade de Três Corações-MG. Esse mapa apresenta também o arruamento e as quadras da respectiva cidade. Para a divisão dos lotes, utilizou-se o *software Google Earth* e também visitas *in loco* para verificar os mesmos.

A bacia foi desmembrada em sub bacias, para permitir a análise em pontos do sistema de microdrenagem existente. As sub bacias foram numeradas para melhor compreensão do estudo em questão. Utilizou-se o *software AutoCad* para encontrar as áreas das sub bacias.

A bacia de contribuição de estudo apresenta uma área de 183598,208 m² e 36 quadras, que foram numeradas de 1 a 36 e subdivididas em sub bacias numeradas com algarismos romanos.

A inexistência de sarjetões nos cruzamentos das vias, segundo apurado em visitas *in loco*, é caracterizada pelo impróprio escoamento superficial das águas pluviais. Pois em determinados locais as águas direcionam para mais que um lado.

Considerando do ponto de vista da trafegabilidade, a ausência de sarjetões pode ocasionar estragos no pavimento.

Conforme a situação exposta acima, propõe-se para esse projeto a implantação de sarjetões no cruzamento das vias da bacia. Esses elementos devem preferencialmente estar localizados no sentido das vias principais a fim de compatibilizá-los com o tráfego de veículos e pedestres.

Através disso, os sarjetões permitirão o apropriado direcionamento das águas pluviais para o sistema inicial de drenagem nos cruzamentos das vias, bem como, o correto equacionamento das vazões de jusante e os demais componentes hidráulicos do sistema de microdrenagem.

O Apêndice C apresenta a Folha de Desenho, com a delimitação da bacia de contribuição, suas sub bacias e o posicionamento dos sarjetões.

Todos os elementos hidráulicos imprescindíveis da bacia de contribuição em estudo foram examinados e dimensionados, levando em consideração todas as características do local.

Os desníveis das ruas e sarjetas são necessários para calcular as declividades transversais dos elementos mencionados acima. Através de visitas *in loco* foram adquiridos os desníveis das ruas e sarjetas.

As declividades longitudinais das ruas foram adquiridas por meio da diferença de cota entre os trechos das vias e divididos pelo comprimento das mesmas.

A partir do dimensionamento hidrológico e hidráulico, foi realizado um comparativo entre a estrutura atual e a estrutura necessária para que o sistema de microdrenagem seja eficiente.

Através de visitas *in loco*, constatou-se que existem trechos de sarjetas que estão obstruídas.

As redes de galerias foram dimensionadas levando em consideração todos os parâmetros hidrológicos e hidráulicos para o sistema de microdrenagem existente. Não foi possível verificar *in loco* qual a declividade das galerias existentes. Assim, para verificar as galerias, considerou-se que as mesmas estavam dispostas de acordo com o nível dos terrenos.

Para resolver os problemas das redes existentes subdimensionadas, propõe-se a substituição das mesmas pelos diâmetros necessários. Deste modo, a rede de galeria estará dimensionada adequadamente e suportará as vazões, atenuando os impactos.

Propõe-se a implantação de poços de visita. Já que a bacia em estudo apresenta somente quatro poços de visita.

Os poços de visitas foram dimensionados de acordo com os novos diâmetros. Eles foram dispostos no início e fim de trecho, mudança de direção e declividade, sempre respeitando o espaçamento máximo entre esses dispositivos conforme a literatura técnica.

Todas as bocas de lobos foram avaliadas detalhadamente e muitas delas estão obstruídas.

Realizou-se um estudo a partir das verificações para saber o apropriado posicionamento de cada boca de lobo e suas respectivas dimensões, com o intuito de apresentar a adequada capacidade de engolimento.

O Apêndice B apresenta a Folha de Desenho com a planta baixa do sistema de microdrenagem, com as respectivas redes de galerias, bocas de lobo e poços de visita adotados para o projeto para solucionar o respectivo sistema.

7.1.4 Área da bacia

Conforme Villela e Mattos (1975) a área da bacia representa a sua área de drenagem, sendo representada por uma área plana e determinada pelos divisores topográficos. Essa área é essencial para definir a vazão da bacia e é determinada em Km² (quilômetros quadrados) ou ha (hectares).

7.1.5 Declividade do curso d' água

Segundo Paes (2004) a declividade do curso d' água é medida conforme a relação entre a diferença de cota entre os pontos das extremidades e o comprimento retilíneo entre as cotas. A Equação 29 apresenta o método de cálculo.

$$S_i = \frac{\Delta h}{L}$$

(Equação 29)

Onde:

S_i = declividade do curso d' água principal (m/m)

Δh = diferença de cota entre os pontos extremos (m)

L = comprimento retilíneo entre as cotas (m)

7.1.6 Tempo de retorno

FERNANDES (2012) nos informa que a chuva de projeto ou chuva máxima está relacionada a um período de retorno. A escolha do período de retorno (T) serve para concordar os fatores de segurança que é o risco de falha com os fatores econômicos os períodos de retorno altos estão ligados a chuva de projeto de grande intensidade e, por conseguinte obras superdimensionadas, inoportuna financeiramente.

Conforme Tucci, Porto e Barros (1995) o tempo de retorno comumente é determinado de acordo com o tipo de ocupação da área. A tabela 10 apresenta valores da literatura técnica para esse parâmetro.

Tabela 10 - Tempo de retorno para diferentes ocupações da área

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação da Área	T (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Áreas com edifícios de serviços públicos	5
Microdrenagem	Aeroportos	2-5
Microdrenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: Tucci, Porto e Barros (1995)

7.1.7 Comprimento do talvegue principal

Conforme Wilken (1978) explica, a extensão do talvegue principal equivale ao maior percurso que a água transita até chegar ao exutório. A unidade de medida desse parâmetro é representada em Km (quilômetros).

7.1.8 Tempo de escoamento superficial

Segundo CARVALHO et al. SILVA (2006) o escoamento superficial compreende a partir da precipitação excedente que acontece posteriormente uma chuva forte e se conduz livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser sustentado tanto pelas águas subterrâneas como pelo excesso de precipitação.

Para TUCCI (1995), é usada a fórmula de tempo escoamento superficial para determinar o tempo em que uma gota de água precisa para seguir o percurso de maior comprimento até a boca de lobo mais longe em minutos, conforme equação 30.

$$t_s = \frac{(16 \times L)}{[(1,05 - 0,2 \times p) \times (100 \times I_m)]^{0,04}}$$

(Equação 30)

Onde:

t_c = tempo de concentração (min)

L = comprimento do talvegue principal (Km)

p = cobertura vegetal (decimal)

I_m = declividade média do talvegue principal (m/m)

7.1.9 Tempo de concentração

Tucci, Porto e Barros (1995) asseguram que o tempo de concentração está sujeito basicamente de três fatores: cobertura vegetal, declividade e tempo de escoamento.

Para TUCCI (1995), o tempo de concentração é definido pela soma dos tempos de trechos distintos.

O tempo de concentração pode ser calculado de acordo com a Equação 31:

$$t_c = t_s + 10 \text{ min}$$

Onde:

t_c = Tempo de concentração do trecho anterior;

t_a = Tempo de concentração do trecho inicial (tempo morto);

t_s = Tempo de escoamento superficial;

7.1.10 Intensidade da chuva

O software Plúvio 2.1 utiliza dados de chuvas excessivas pelo método inverso, e dentre as 28 combinações de interpolação, o método tem mostrado melhores resultados na estimativa da intensidade média de precipitação, criado pelo Grupo de Pesquisas em Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. Utiliza-se a equação 32 para encontrar a intensidade de precipitação.

$$I = \frac{K \cdot T^a}{(t+b)^c} = \text{mm/h}$$

(Equação 32)

Onde:

I = é a intensidade máxima média de precipitação em *mm*;

T = representa o tempo de retorno da chuva em anos;

K, a, b, c = são parâmetros locais obtidos por regressão não linear, com base nas informações extraídas de pluviogramas;

t = é o tempo de duração mínima (min).

7.1.11 Coeficiente de escoamento superficial (runoff)

“Por definição coeficiente de runoff é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado.” (TUCCI,2000)

Para THOMAZ, o coeficiente de runoff precisa também do solo, pois a absorção diminui no mesmo momento em que a chuva continua, conforme as condições do solo. Influencia também o grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode acumular. O melhor coeficiente é aquele que se levou em conta a maior quantia de eventos que influenciam no valor de “C”.

Coeficiente de escoamento superficial: retrata a relação entre o volume que corre sobre a superfície do terreno e o volume precipitado. É expresso pela equação 33.

$$C = \frac{\text{Volume de água escoado superficialmente}}{\text{Volume precipitado}}$$

(Equação 33)

De acordo com a tabela 11, podemos definir os valores de “C”.

Tabela 11 - Valores de coeficiente de escoamento superficial

Zonas	Valores de C
De edificação muito densa: partes centrais densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas pavimentadas;	0,70 a 0,95
De edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas;	0,60 a 0,70
De edificação com pouca superfície livre: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas;	0,50 a 0,60
De edificação com muitas superfícies livres: partes residenciais tipo cidade-jardim, ruas macadamizadas ou pavimentadas;	0,25 a 0,50
De subúrbios com alguma edificação: partes de arredores com pequena densidade de construções;	0,10 a 0,25
De matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques e campos de esporte sem pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Wilken (1978)

Conforme THOMAZ (2013), quando a bacia possui atividade muito variada deve ser utilizada a média ponderada, através da equação 34.

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + C_3 \cdot A_3 + \dots + C_i \cdot A_i}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_i}$$

7.1.12 Vazão pluvial - Método Racional

Segundo Tucci (2000) um dos métodos mais empregados para determinação de vazões de pico em bacias de pequeno porte é o Método Racional. Este método devido aos seus resultados satisfatórios e sua simplicidade, possui grande aceitação, sendo feito de acordo com suas limitações.

GRIBBIN (2014) ressalta que este método racional, dimensiona a vazão máxima para bacias pequenas de drenagem como pequenos fundos de vale e afluentes a menores estruturas de drenagem, como coletores de águas pluviais.

A fórmula do método racional é expressa pela Equação 35.

$$Q = C \times I \times A$$

(Equação 35)

Onde:

Q = vazão de pico (m³/s)

C = coeficiente de escoamento superficial

I = intensidade da chuva (mm/h)

A = área da bacia (m²)

7.1.13 Sarjetas

BOTELHO (2011) afirma que as sarjetas são utilizadas para firmar as guias e para elaborar o piso de escoamento de água. Através do alargamento da rua (declividade transversal), as águas escoam, especialmente, pelas sarjetas.

Para encontrar a capacidade das sarjetas temos o cálculo de Manning modificado por Izzard, representado pela equação 36:

$$q_{st} = 0,375 \times \left(\frac{z_1}{n} \times y_0^{8/3} - \frac{z_1}{n} \times y_1^{8/3} + \frac{z_2}{n} \times y_1^{8/3} \right)$$

(Equação 36)

Onde:

Q = Vazão (em m³/s);

Z = Inverso da declividade transversal (em m/m);

I = Declividade longitudinal (em m/m);

y = Profundidade relativa a linha de fundo (em m);

n = Coeficiente de rugosidade do material;

É necessária a utilização da tabela 12 para obtenção do coeficiente de rugosidade devido características e tipo de material usado no local.

Tabela 12 – Coeficiente de rugosidade

TIPO DE SARJETA OU PAVIMENTO	COEFICIENTE DE RUGOSIDADE
Sarjeta em concreto bem acabada	0,012
Pavimento em asfalto com textura lisa	0,013
Pavimento em asfalto com textura áspera	0,016
Sarjeta em concreto e pavimento em asfalto com textura lisa	0,013
Sarjeta em concreto e pavimento em asfalto com textura áspera	0,015
Pavimento em concreto bem acabado	0,014
Pavimento em concreto mal acabado	0,016
Sarjetas com pequenas declividades onde os sedimentos se acumulam	0,02

Fonte: (TOMAZ, 2010)

Para a definição da altura d' lâmina de água (y₀) utilizou-se a Equação 37, conforme recomendação da CETESB (1980).

$$y_0 = 0,8 \times h$$

(Equação 37)

Onde:

y_0 = Altura da lâmina d' água (m)

h = altura do meio fio (m)

A diferença de altura entre a sarjeta e a via (y_1) é determinada conforme Tucci, Porto e Barros (1995), através da Equação 38.

$$it \text{ sarjeta} = \frac{y_0 - y_1}{L \text{ sarjeta}}$$

(Equação 38)

Onde:

$it \text{ sarjeta}$ = inclinação transversal da sarjeta (entrada de valor em número decimal)

y_0 = altura da lâmina d' água (m)

y_1 = diferença de altura entre a sarjeta e a via (m)

$L \text{ sarjeta}$ = largura da sarjeta (m)

De acordo com Wilken (1978) o inverso da declividade da sarjeta e da via é determinado através das Equações 39 e 40 respectivamente.

$$z1 = \frac{1}{it \text{ sarjeta}}$$

(Equação 39)

Onde:

$z1$ = inverso da declividade da sarjeta

$it \text{ sarjeta}$ = inclinação transversal da sarjeta

$$z2 = \frac{1}{it \text{ via}}$$

(Equação 40)

Onde:

z_2 = inverso da declividade da via

it via = inclinação transversal da via

7.1.14 Fator de redução do escoamento da sarjeta

De acordo com a CETESB (1980) deve-se aplicar um fator de redução de escoamento da sarjeta (F), indicados na Tabela 13.

Tabela 13 - Fatores de redução de escoamentos da sarjeta

Declividade da sarjeta (%)	Fator de redução
0,40	0,50
1,00 a 3,00	0,80
5,00	0,50
6,00	0,40
8,00	0,27
10,00	0,20

Fonte: CETESB (1980)

7.1.15 Cálculo da vazão real da sarjeta

A CETESB (1980) aconselha calcular a vazão real da sarjeta (qsr) através da Equação 41.

$$q_{sr} = q_{st} \times F$$

(Equação 41)

Onde:

q_{sr} = vazão real da sarjeta (m^3/s)

q_{st} = capacidade teórica da vazão da sarjeta (m^3/s)

F = fator de redução de escoamento da sarjeta

Tucci, Porto e Barros (1995) explicam que quando a vazão real da sarjeta é menor que a vazão pluvial não tem a necessidade de galerias. Esse procedimento deve ser feito em todos os trechos da bacia contribuinte.

7.1.16 Galerias

Galeria é a tubulação que transporta as águas pluviais. BOTELHO (2011) determina para os parâmetros de cálculo que o diâmetro mínimo da canalização essencial seja de 400 mm privando-se assim a obstrução e entupimentos oriundos de resíduos jogados a boca de lobo.

Segundo BOTELHO (2011), calculam-se os condutos de maneira que o escoamento permaneça em regime permanente, ou seja, h , Q , V continuem inalterados correspondentes ao tempo e uniforme, inalterados ao longo do canal.

SUETONIO (2012) afirma que galerias de águas pluviais são tubulações receptoras das águas pluviais recebidas nas bocas de lobo, realizando a condução das mesmas para canais, cursos de água, lagoas, mar, etc. A vazão da galeria é calculada pela equação 42.

$$Q = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i} \times A_m$$

(Equação 42)

Onde:

Q = vazão (em m^3/s);

R_h = raio hidráulico (em m);

I = declividade (em m/m);

A_m = área molhada (em m^2).

7.1.17 Velocidade

De acordo com o DAEE (2006), a velocidade de escoamento das águas pluviais das galerias pode ser verificada através da Equação *de Manning*, expressa na Equação 43.

$$V = \frac{1}{n} \times R_h^{2/3} \times \sqrt{i}$$

(Equação 43)

Onde:

V = velocidade (m/s)

n = coeficiente de rugosidade de Manning

i = declividade média (m/m)

Rh = raio hidráulico (m)

7.1.18 Raio hidráulico

Segundo TOMAZ (2011), o raio hidráulico é a relação entre a área molhada e o perímetro molhado, que é calculado através da equação 44:

$$Rh = \frac{Am}{Pm}$$

(Equação 44)

Onde:

Rh = Raio hidráulico (em m);

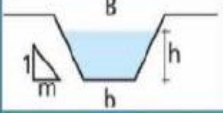
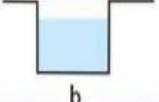
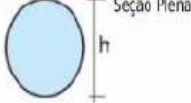
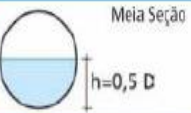

Am = Área molhada (em m²);

Pm = Perímetro molhado (em m);

7.1.19 Geometria e parâmetros de cálculo das galerias

De acordo com Ferreira, Viana e Pimenta (2014) as galerias possuem diversas geometrias, tais como: retangulares, trapezoidais, triangular e circular. Para cada tipo de seção existem padrões específicos, conforme a Figura 16.

Figura 16 - Elementos hidráulicos

Geometria da Seção	Área Molhada (A_m)	Perímetro Molhado (P_m)	Raio Hidráulico (R_H)	Largura Superficial (B)
	$(b+mh)h$	$b + 2h\sqrt{1+m^2}$	$\frac{(b+mh)h}{b + 2h\sqrt{1+m^2}}$	$b+2mh$
	$b \cdot h$	$b+2h$	$\frac{b \cdot h}{b+2h}$	b
 Seção Plena	$\frac{\pi \cdot D^2}{4}$	$\pi \cdot D$	$\frac{D}{4}$	----
 Meia Seção	$\frac{\pi \cdot D^2}{8}$	$\frac{\pi \cdot D}{2}$	$\frac{D}{4}$	----
 Vazão Máxima	$0,7662 \cdot D^2$	$2,6467 \cdot D$	$0,2895 \cdot D$	----

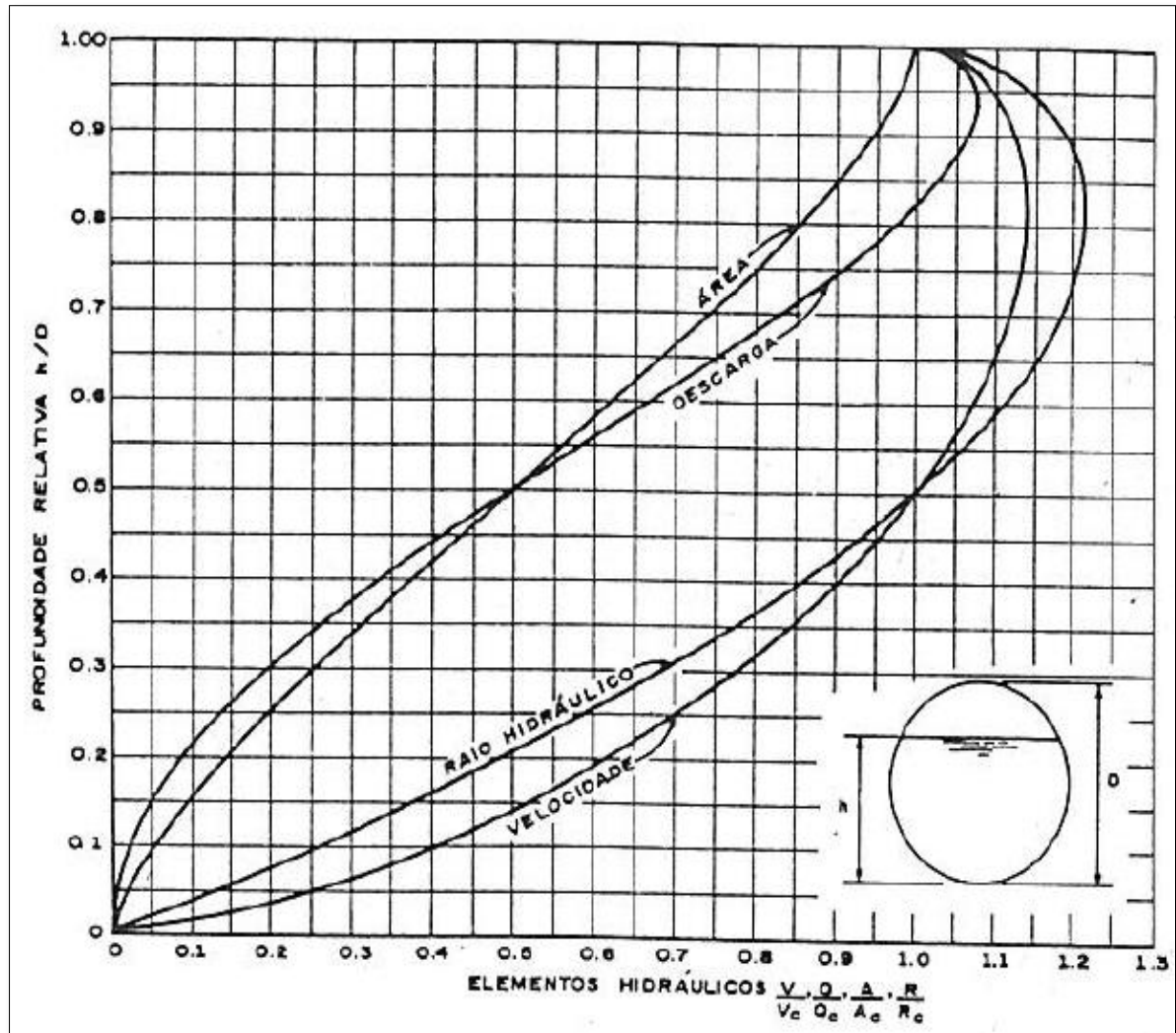
Fonte: DAEE (2006)

7.1.20 Reajuste dos parâmetros da galeria

Tomaz (2013) enfatiza que as vazões de projeto das galerias necessitam ser projetadas para funcionamento a seção plena, sendo que a velocidade está associada com o tipo de material a ser empregado e o recobrimento mínimo é de 1 m (um metro).

De acordo com a CETESB (1980) quando a seção circular apresenta a relação y/D diferente de 0,5 (cinco décimos), 0,9 (nove décimos) e 1 (um) os parâmetros e critérios de dimensionamento devem ser reajustados conforme a Figura 17.

Figura 17 - Elementos hidráulicos característicos das seções circulares



Fonte: CETESB (1980)

Onde:

V = velocidade com o conduto parcialmente cheio

V_o = velocidade com o conduto cheio

Q = vazão com o conduto parcialmente cheio

Q_o = vazão com o conduto cheio

A_m = área molhada com o conduto parcialmente cheio

A_{m_o} = área molhada com o conduto cheio

R_h = raio hidráulico com o conduto parcialmente cheio

R_{h_o} = raio hidráulico com o conduto cheio

7.1.21 Declividade mínima das galerias

A Tabela 14 apresenta a relação entre a tubulação e a declividade mínima.

Tabela 14 - Declividade mínima das galerias

Diâmetro (mm)	Declividade mínima (m/m)
300	0,003
350	0,0023
400	0,0019
500	0,0014
600	0,0011
700	0,0009
800	0,0007
900	0,0006
1000	0,0005
1200	0,0004

Fonte: Universidade de São Paulo (2015)

7.1.22 Poços de visita

TUCCI (2005) define poço de visita ou poço de inspeção, como uma caixa de ou premoldado de concreto ou alvenaria que liga duas partes consecutivas de uma galeria e é capaz de obter os condutos de conexão das bocas de lobo. Pode ser vista por meio da chaminé.

Poços de visita propiciam o caminho às canalizações, para finalidade de limpeza e averiguação. SUTONIO (2012)

De acordo com Botelho (2011) a dimensão dos poços de visita está relacionada com o diâmetro das galerias. A Tabela 15 apresenta esses valores.

Tabela 15 - Dimensão A em função do diâmetro maior

Diâmetro (mm)	A(m)
	1,20 (mínimo)
600	1,4
700	1,5
800	1,6
900	1,7
1000	1,8
1200	2
1500	2,3

Fonte: Botelho (2011)

7.1.23 Espaçamentos dos poços de visita

De acordo com a CETESB (1980) o espaçamento dos poços de visita está associado com o diâmetro ou a altura do conduto, conforme a Tabela 16.

Tabela 16 - Espaçamentos dos poços de visita

Diâmetro (ou altura do conduto) (m)	Espaçamento (m)
0,30	120
0,50 - 0,90	150
1,00 ou mais	180

Fonte: CETESB (1980)

7.1.24 Bocas de lobo

Conforme a USP (2000), boca de lobo é uma estrutura hidráulica designada a receber as águas superficiais, compondo-se de uma caixa de alvenaria ou pré-moldado de concreto posicionado sob a calçada ou sob a sarjeta. No primeiro caso, apreende águas superficiais por meio da abertura na guia chamada chapéu; no segundo caso, apreende águas superficiais através de uma grelha de ferro fundido.

7.1.25 Cálculo da boca de lobo com grelha

De acordo com Tucci, Porto e Barros (1995) Uma boca de lobo com grelha pode funcionar como vertedouro de soleira livre desde que apresente profundidade de lâmina de água até 12 cm (doze centímetros) e um dos lados da grelha é adjacente da guia. A capacidade de engolimento dessa boca de lobo pode ser calculada através da Equação 45.

$$Q = 1,7 \times P \times y^{3/2} \quad \text{(Equação 45)}$$

Onde:

Q = vazão de engolimento (m³/s)

P = perímetro do orifício (m)

y = altura de água próxima a abertura da guia (m)

Conforme Tucci, em profundidades de lâminas de água com altura maior que 42 cm (quarenta e dois centímetros) a vazão é calculada conforme a Equação 46.

$$Q = 2,91 \times A \times y^{1/2} \quad \text{(Equação 46)}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s)

A = área da grade, excluídas as áreas ocupadas pelas grades (m²)

y = altura de água na sarjeta sobre a grelha (m)

APÊNDICE B

APÊNDICE C