



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

DIOGO BOFF  
LUCAS DA SILVA JORGE

**ANÁLISE E READEQUAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DO  
RESIDENCIAL CRISTO VIVE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-  
PA**

Tucuruí – PA  
2015

DIOGO BOFF  
LUCAS DA SILVA JORGE

**ANÁLISE E READEQUAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DO RESIDENCIAL CRISTO  
VIVE LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil, na Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus de Tucuruí, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil, sob orientação do Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara.

DIOGO BOFF  
LUCAS DA SILVA JORGE

**ANÁLISE E READEQUAÇÃO DO PROJETO DE DRENAGEM DO RESIDENCIAL CRISTO VIVE  
LOCALIZADO NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia Civil, na Universidade Federal do Pará (UFPA) – Campus de Tucuruí, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Tucuruí, 20 de novembro de 2015.

Aprovado por:

---

Prof. DSc. Júnior Hiroyuki Ishihara (CAMTUC – UFPA)  
(Orientador)

---

Prof<sup>o</sup> MSc. Alcione Batista da Silva (CAMTUC – UFPA)  
(Examinadora Interna)

---

Profa. DSc. Fernanda Pereira Gouveia (CAMTUC – UFPA)  
(Examinadora Interna)

## DEDICATÓRIA

Dedicamos este trabalho aos nossos pais, familiares, amigos e a todos aqueles que influenciaram de forma direta ou não, na realização desse importante passo na concretização do nosso sonho. A todos vocês, nossa gratidão e carinho.

## AGRADECIMENTOS DE DIOGO BOFF

A minha Mãe, Vera Lúcia Boff, meu pai Jairo Boff e meu irmão Mateus Boff pelo amor, confiança e compreensão em todos os momentos desta jornada.

À Isadora, amiga e namorada, pelo companheirismo, incentivo e principalmente compreensão nos momentos de dificuldade no curso.

À Universidade Federal do Pará, por proporcionar a oportunidade de aprendizado.

Ao corpo Docente da UFPA, pelos ensinamentos, sabedoria, atenção e dedicação.

À turma de Engenharia Civil 2011, pelo companheirismo e amizade, especialmente à Lucas Jorge, Allan, Romerson, Welton, Paulo André e Misley, que estiveram mais presentes nos trabalhos realizados.

Ao meu amigo e parceiro de TCC, Lucas Jorge, que contribuiu de forma bastante importante para juntos realizarmos esse trabalho.

Ao professor Junior Hiroyuki Ishihara, pela orientação indispensável para a realização deste trabalho.

À empresa Techcasa Incorporação e Construção LTDA, representada pelo engenheiro Marcos André Lima Magno, que contribuiu abrindo as portas da empresa para toda e qualquer necessidade que este trabalho veio a ter.

A todos aqueles que contribuíram de forma direta ou indireta, para a realização deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS DE LUCAS DA SILVA JORGE**

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado força e me guiado nessa trajetória.

A toda minha família, especialmente aos meus pais Nicolau Jorge e Claudiana da Silva e meu irmão Vitor Jorge, que estiveram sempre presentes me apoiando e me dando forças para continuar na luta durante essa etapa da minha vida.

Agradeço a minha namorada, Pâmela Voloski, que compartilhou comigo esse momento e me ajudou bastante dando apoio moral para o desenvolvimento deste e de todos os outros trabalhos da universidade.

A todos os colegas de curso que fizeram parte dessa caminhada, dividindo momentos de descontração, estudos, discussões e conquistas, em especial aos meus amigos Diogo, Romerson, Paulo André, Welton, Allan, Misley, Daisiree e Douglas.

Agradeço ao meu amigo e parceiro nesse trabalho, Diogo Boff, cuja determinação e contribuição foram fundamentais para a conclusão deste e de tantos outros trabalhos.

Ao meu orientador professor Júnior Ishihara pela dedicação e atenção durante a elaboração deste trabalho e a todos os outros professores que contribuíram para minha formação.

Por fim, a todos que não foram citados, mas que também contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.

## RESUMO

O residencial Cristo Vive em Tucuruí-PA é integrante do programa habitacional do Governo Federal Minha Casa Minha Vida, suas obras tiveram início no ano de 2012 com o objetivo inicial de ofertar 1508 residências à população de baixa renda inscrita nesse programa. A construção do residencial foi paralisada em 2013 após uma vistoria técnica da equipe de engenharia da Caixa Econômica Federal – responsável pela fiscalização e financiamento da obra – constatar diversos problemas de infraestrutura e irregularidades, retirando a concessão da então empresa responsável por sua execução. O terreno onde foi construído o residencial é bastante acidentado e não recebeu o devido processo de nivelamento. Assim, as ruas do residencial continuam com mais de 10% de declividade longitudinal em alguns trechos, gerando grandes vazões e aumento das velocidades de escoamento de águas pluviais durante precipitações no local. Esse fator, aliado à baixa eficiência do sistema de drenagem, culminou na danificação de várias ruas e elementos de infraestrutura do residencial. O presente trabalho constatou, por meio de levantamento fotográfico, que erros no sistema de drenagem urbana de águas pluviais foram os grandes responsáveis pelos prejuízos à infraestrutura da obra, que apresenta, principalmente, pavimentação e calçadas bastante deterioradas por processo erosivo, decorrente do escoamento das águas não captadas. Além dos danos ocasionados na obra, verificou-se que uma grande quantidade de sedimentos carregados pelas águas foram depositados na área de um igarapé à jusante do residencial, causando acelerado processo de assoreamento. Desta forma o presente trabalho tem como objetivo principal analisar e propor uma readequação do sistema de drenagem de águas pluviais do residencial. Para o desenvolvimento deste trabalho analisou-se a planta do projeto original de drenagem e o levantamento topográfico da obra, este trabalho consistiu em, primeiramente, avaliar os erros no projeto de microdrenagem do residencial, comparando com as recomendações e instruções de referenciais teóricos mais aceitos no meio científico - uma vez que não existem normas brasileiras específicas que instruem esse procedimento executivo - e avaliar a execução do projeto. Ficou constatado erros tanto na elaboração do projeto – observados na planta original – quanto na execução das partes constituintes do sistema. Posteriormente, foi elaborado um novo projeto de drenagem de águas pluviais para o residencial, com a produção de planilhas de dimensionamento de cada elemento, seguindo os referenciais teóricos para tal. As principais correções do sistema foram o reposicionamento de componentes e alterações no tipo de bocas coletoras utilizadas, visando a adequação da capacidade de captação de acordo com as vazões calculadas e garantindo a segurança e eficiência da drenagem. O projeto elaborado buscou uma readequação do sistema prevendo o reaproveitamento de alguns dos elementos de drenagem utilizados anteriormente e, ao final deste trabalho, encontra-se a nova planta do sistema de drenagem de águas pluviais com as alterações indicadas.

Palavras-chave: Drenagem urbana. Dimensionamento Erosão. Assoreamento. Tucuruí-PA.

## ABSTRACT

This study aims to analyze and propose an overhaul of the residential rainwater drainage system Cristo Vive in Tucuruí - PA. Integrant of the Federal Government's housing program Minha Casa Minha Vida, this building began in 2012 with the initial goal of offering 1,508 homes for low-income population registered in this program. The building of the residential was paralyzed in 2013 after a technical inspection of the engineering team of Caixa Econômica Federal - responsible for the supervision and financing of the work - note several problems of infrastructure and irregularities, removing granting the company responsible for its execution. The land where it was built the residences is quite rugged and did not receive proper leveling process. Thus, the streets of the build are quite steep, reaching more than 10% longitudinal of slope in some places and causing large flows and high speeds of stormwater runoff during rainfall on site. This factor, combined with the low efficiency of the drainage system, resulted in damage to several streets and building infrastructure elements. This study finds, through photographic survey that errors in the urban drainage system of rainwater were responsible for the damage to infrastructure of the building, which features mainly paving and sidewalks quite damaged by erosion, resulting from the flow of waters not captured. In addition to the damages caused, was found that a large amount of sediment is being carried by the water and deposited in the area of a igarapé downstream of the building, causing accelerated silting process. By the plan of original project drainage and topographic lifting of the streets, this work consists of, first, assess the mistakes of the residential drainage system, compared to the recommendations and instructions of the most accepted theoretical references in scientific area - once that no exist specific Brazilian rules that instruct this executive procedure. Was found errors both in the preparation of the project - observed in the original plan - as in the execution of system elements. Subsequently, was produced a new drainage project of rainwater for residential, with producing of sizing sheets of each element by following the theoretical framework for this. The main system corrections were positioning of components and changes in the type of used collecting mouths, aimed at adapting the ability to capture in accordance with the calculated flow rates and ensuring safety and drainage efficiency. The project developed aims an overhaul of the system providing for the reuse of some of the drainage elements previously used, and at the end of this work, there is the new plan of rainwater drainage system with the changes indicated.

Keywords: Urban drainage. Sizing. Erosion. Silting. Tucuruí-PA.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima.....	21
Figura 2 - Efeitos da urbanização.....	23
Figura 3 - Sequência de passos de um estudo de drenagem urbana.....	24
Figura 4 - Esquematização do sistema de drenagem pluvial urbano.....	30
Figura 5 - Alinhamento dos condutos.....	35
Figura 6 - Rede coletora.....	36
Figura 7 - Localização das caixas de ligação.....	37
Figura 8 - Dissipador de energia para saídas de bueiros.....	38
Figura 9 - Corte AA' e BB' do dissipador de energia.....	38
Figura 10 - Seção da sarjeta.....	39
Figura 11 - Tipos de boca de lobo.....	42
Figura 12 - Impermeabilização do solo em diferentes áreas.....	47
Figura 13 - Esquema da desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva.....	48
Figura 14 - Ravinas.....	49
Figura 15 - Voçoroca.....	49
Figura 16 - Processo de assoreamento.....	50
Figura 17 - Consequências do assoreamento.....	51
Figura 18 - Localização do Residencial Cristo Vive.....	52
Figura 19 - Áreas de contribuição das quadras.....	55
Figura 20 - Tipos de sarjetas.....	56
Figura 21 - Vista geral do residencial durante uma precipitação.....	64
Figura 22 - Escoamento no final de rua.....	65
Figura 23 - Escoamento resultando em danos ao pavimento.....	65
Figura 24 - Escoamento sobre calçada.....	66
Figura 25 - Sarjetas deterioradas.....	66
Figura 26 - Sarjetas totalmente destruídas.....	67
Figura 27 - Processo erosivo no leito das ruas.....	68
Figura 28 - Sarjetas destruídas.....	68
Figura 29 - Aberturas no pavimento em cruzamentos de ruas.....	69
Figura 30 - Cratera localizada em cruzamento de ruas.....	69
Figura 31 - Sedimentos carregados pelas águas pluviais.....	70
Figura 32 - Ravinas à jusante do residencial.....	70
Figura 33 - Exutório destruído.....	71
Figura 34 - Ponto exutório do sistema de drenagem.....	71

<b>Figura 35 - Sedimento na área do igarapé. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 36 - Vegetação característica de áreas que sofrem assoreamento. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 37 - Mau posicionamento das bocas de lobo. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 38 - Boca de lobo em esquina. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 39 - Boca de lobo com abertura acima do nível da sarjeta. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 40 - Escoamento de águas pluviais em cruzamento. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 41 - Consequência de mau posicionamento de boca de lobo. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 42 - Posicionamento correto das bocas de lobo. ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 43 - Boca de lobo tipo simples no residencial. ....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 44 - Indicação de boca de lobo dupla. ....</b>	<b>77</b>
<b>Figura 45 - Detalhe de boca de lobo combinada. ....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 46 - Indicação de bocas de lobo ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 47 - Inexistência de bocas de lobo. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 48 - Projeto de drenagem indicando poços de visita. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 49 - Cruzamentos sem poço de visita. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 50 - Ponto intermediário sem poço de visita. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 51 - Detalhe da sarjeta no projeto original. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 52 - Sarjeta executada na obra. ....</b>	<b>82</b>

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1 - Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.....</b>	<b>22</b>
<b>Tabela 2 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabela 3 - Tempo de concentração para áreas urbanizadas. ....</b>	<b>27</b>
<b>Tabela 4 - Coeficientes “K”, “a”, “b” e “c” das equações de chuvas intensas ajustadas para várias localidades do Estado do Pará.....</b>	<b>28</b>
<b>Tabela 5 – Valores de C de acordo com superfícies de revestimento. ....</b>	<b>29</b>
<b>Tabela 6 - Valores de n: Coeficiente de rugosidade de Manning. ....</b>	<b>41</b>
<b>Tabela 7 - Fatores de redução de escoamento das sarjetas. ....</b>	<b>44</b>
<b>Tabela 8 - Relações para Fator Hidráulico de seções circulares. ....</b>	<b>46</b>

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

$\Sigma Q$	Somatório da vazão
A	Área de contribuição
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Coeficiente de escoamento
CL	Caixa de Ligação
cm	Centímetros
D	Diâmetro
et.al.	E outros
apud	citado por, segundo
Fh	Fator hidráulico
há	hectare
I	Intensidade da chuva
I Long	Declividade longitudinal
i transv.	Declividade transversal
Jus	Jusante
K	Coeficiente de rugosidade, adotado igual a 60 para pavimento comum de vias públicas
L	Comprimento
l/s	Litros por segundo
Larg. Rua	Largura da rua
m	Metro
m/m	Metro por metro
min	Minutos
mm/h	Milímetros por hora
Mont	Montante
MSc	Mestre
n	Coeficiente de rugosidade de Manning
p	Probabilidade
PA	Pará
Prof	Professor
PV	Poço de visita
PVJ	Poço de visita a jusante
PVM	Poço de visita a montante
Q	Vazão calculada de cada sarjeta

Qo	Vazão máxima admissível em cada sarjeta
Qo reduzido	Vazão Reduzida da Sarjeta
Qp	Vazão real de contribuição na sarjeta
R	Raio hidráulico
Rh	Raio hidráulico
S	Declividade longitudinal
T	Tempo de recorrência
tc	Tempo de concentração
tg	Tangente
Tr	Período de retorno
UFPA	Universidade Federal do Pará
Vmáx	Velocidade máxima
Y0	Altura da sarjeta
z	Inverso da declividade transversal

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo Geral.....	17
1.1.2	Objetivos Específicos.....	17
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>18</b>
2.1	CICLO HIDROLÓGICO.....	18
2.2	EFEITOS DA URBANIZAÇÃO .....	20
2.3	HIDROLOGIA URBANA.....	23
2.3.1	Escolha do Período de Retorno .....	24
2.3.2	Tempo de Concentração.....	26
2.3.3	Intensidade de precipitação .....	27
2.3.4	Determinação da vazão de projeto: Método Racional .....	28
2.4	DRENAGEM URBANA.....	30
2.4.1	Medidas de Controle Estruturais e Não-Estruturais.....	31
2.4.2	MICRODRENAGEM .....	32
2.4.2.1	<i>Definição do esquema geral do projeto</i> .....	34
2.4.2.2	<i>Disposição dos componentes</i> .....	35
2.4.3	Estruturas de dissipação de energia .....	37
2.5	DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO.....	39
2.5.1	Capacidade de condução das sarjetas.....	39
2.5.2	Bocas de lobo .....	41
2.5.2.1	<i>Capacidade de “engolimento” de bocas de lobo</i> .....	42
2.5.3	Dimensionamento da rede coletora (galerias).....	45
2.6	IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR PROBLEMAS DE SISTEMA DE DRENAGEM.....	47
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>52</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	52
3.2	MÉTODOS.....	53
3.2.1	Dimensionamento Hidráulico.....	53
3.2.1.1	<i>Verificação da topografia das ruas</i> .....	54
3.2.1.2	<i>Vazão de projeto das sarjetas</i> .....	54
3.2.1.3	<i>Dimensionamento das sarjetas</i> .....	56
3.2.1.4	<i>Dimensionamento das bocas de lobo</i> .....	58
3.2.1.5	<i>Definição das cotas das caixas de ligação</i> .....	60
3.2.1.6	<i>Dimensionamento da rede coletora</i> .....	61
3.2.1.7	<i>Planta do projeto de drenagem de águas pluviais</i> .....	63
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>64</b>
4.1	ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO RESIDENCIAL.....	64
4.2	LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS NA OBRA .....	67
4.3	LEVANTAMENTO DAS FALHAS ESTRUTURAIS DO SISTEMA DE DRENAGEM DA OBRA .....	73
4.3.1	INADEQUADO POSICIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO .....	73
4.3.2	INADEQUADA ESCOLHA DO TIPO DE BOCAS DE LOBO .....	76
4.3.3	INEXISTÊNCIA DE BOCAS DE LOBO INDICADAS NO PROJETO .....	78
4.3.4	INEXISTÊNCIA DE POÇOS DE VISITA INDICADOS NO PROJETO .....	80

4.3.5	SARJETAS NÃO EXECUTADAS CONFORME PROJETO.....	81
4.3.6	SÍNTESE DOS PROBLEMAS ESTRUTURAIS DO SISTEMA DE DRENAGEM ....	83
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>85</b>
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	86
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>7</b>	<b>APÊNDICE A – VERIFICAÇÃO DA TOPOGRAFIA (RUAS TRANSVERSAIS) .....</b>	<b>90</b>
<b>8</b>	<b>APÊNDICE B – VERIFICAÇÃO DA TOPOGRAFIA (RUAS PARALELAS) .....</b>	<b>92</b>
<b>9</b>	<b>APÊNDICE C – VAZÃO DE PROJETO (RUAS TRANSVERSAIS) .....</b>	<b>95</b>
<b>10</b>	<b>APÊNDICE D – VAZÃO DE PROJETO (RUAS PARALELAS) .....</b>	<b>98</b>
<b>11</b>	<b>APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS (RUAS TRANSVERSAIS)..</b> <b>.....</b>	<b>102</b>
<b>12</b>	<b>APÊNDICE F – DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS (RUAS PARALELAS) .</b>	<b>105</b>
<b>13</b>	<b>APÊNDICE G – DIMENSIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO (RUAS</b> <b>TRANSVERSAIS) .....</b>	<b>109</b>
<b>14</b>	<b>APÊNDICE H – DIMENSIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO (RUAS</b> <b>PARALELAS) .....</b>	<b>112</b>
<b>15</b>	<b>APÊNDICE I – COTAS DAS CAIXAS DE LIGAÇÃO.....</b>	<b>116</b>
<b>16</b>	<b>APÊNDICE J – DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA .....</b>	<b>119</b>
<b>17</b>	<b>APÊNDICE K – PLANTA DO PROJETO DE DRENAGEM CORRIGIDO.....</b>	<b>123</b>
<b>18</b>	<b>ANEXO A – PLANTA DO PROJETO DE DRENAGEM ORIGINAL .....</b>	<b>125</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O último século foi marcado pela crescente urbanização das cidades, deixando explícito diversos problemas de cunho estrutural oriundos da falta de um planejamento adequado. As enchentes, por exemplo, se tornaram uma frequente e isso se deve principalmente à falta ou inadequação da drenagem urbana.

A ocupação descontrolada do solo, assim como o desmatamento, provocam efeitos que desestabilizam os componentes do ciclo hidrológico, interferindo na infraestrutura dos recursos hídricos e atingindo conseqüentemente a qualidade da água. A falta de rede de esgoto junto com a ineficiência da distribuição e coleta de lixo aumenta a possibilidade de ocorrência de inundações, provocada por entupimento de bueiros e galerias, ocasionando a veiculação de doenças (STEINER, 2011).

O sistema de drenagem inicial, ou microdrenagem, faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana. É composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, galerias de águas pluviais e também canais de pequenas dimensões. Quando bem projetado, esse sistema elimina praticamente os alagamentos na área urbana, evitando as interferências das enxurradas no tráfego de pedestres e de veículos e danos às zonas urbanas (FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH, 2012).

Segundo o Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), o município de Tucuruí – PA estava com um déficit habitacional de 8576 residências, fator que foi determinante para o ingresso do município no programa habitacional do Governo Federal, Minha Casa Minha Vida. Em 2012 tiveram início as obras do residencial Cristo Vive, onde inicialmente estavam previstas a construção de 1508 unidades habitacionais, das quais apenas 1000 foram aprovadas e construídas. O terreno destinado para o residencial tem grande declividade, com média de aproximadamente 10% de inclinação.

Alguns meses após o início dos trabalhos, uma vistoria técnica da equipe de engenharia da Caixa Econômica Federal constatou diversas irregularidades na obra, ocasionando sua paralisação. Dentre os problemas encontrados, estava a drenagem das águas pluviais, onde foram cometidos erros de projeto e de execução, acarretando em diversos transtornos antes mesmo do término das obras.

O presente trabalho visa analisar as partes constituintes do sistema de microdrenagem do projeto original e sua respectiva execução na obra. Como não existem

normas brasileiras específicas da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – sobre projetos de sistema de drenagem urbana de águas pluviais, foram utilizados referenciais teóricos mais aceitos no meio científico sobre o assunto, para identificar as causas dos problemas ocorridos e apontar as melhores soluções em um projeto corretivo, visando a adequação e reaproveitamento de alguns dos componentes do sistema de drenagem original, diminuindo assim, os custos com o reparo desse sistema.

Cabe ressaltar que a readequação do sistema de drenagem do residencial é necessária para que cessem os danos à infraestrutura local – causados pelo escoamento das águas pluviais – e seja possível a reconstrução das ruas e calçadas desgastadas pelo processo erosivo proveniente da baixa eficiência deste sistema, evitando assim, gastos futuros com novos reparos e garantindo bem-estar à população.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Analisar e propor possível readequação do projeto de drenagem do residencial Cristo Vive localizado no município de Tucuruí-PA.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar o projeto de drenagem do residencial Cristo Vive localizado no município de Tucuruí-PA, correlacionando com os instrumentos normativos e referenciais teóricos sobre projetos de drenagem.
- b) Avaliar a situação atual que se encontra o sistema de drenagem no residencial, verificando-se o estado atual do corpo receptor onde desagua o sistema de drenagem.
- c) Propor uma possível readequação do projeto de drenagem do residencial atentando para os critérios técnico-científicos e normativos.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 CICLO HIDROLÓGICO

Silveira (2007, p. 35) descreve: “O ciclo hidrológico é o fenômeno global de circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, produzido pela energia solar junto à gravidade e a rotação terrestre”.

O ciclo hidrológico somente é fechado em nível global e o intercâmbio entre as circulações da superfície terrestre e da atmosfera ocorre em dois sentidos (SILVEIRA, 2007):

- a) no sentido superfície-atmosfera: o curso da água ocorre essencialmente na forma de vapor, através dos processos de evaporação e de transpiração, sendo este último um fenômeno biológico;
- b) no sentido atmosfera-superfície: onde o fluxo de água ocorre em qualquer estado físico.

Para Alvarez e Garcez (1988) é com base no conceito de ciclo hidrológico que se caracteriza o comportamento natural da água quanto à sua ocorrência, transformações de estado e relação com a vida humana, sendo que, em vista as aplicações à Engenharia Hidráulica, o ciclo hidrológico compreende quatro etapas principais:

- a) precipitações atmosféricas (chuva, granizo, neve, orvalho);
- b) escoamentos subterrâneos;
- c) escoamentos superficiais;
- d) evaporação (na superfície das águas e no solo) e transpiração dos vegetais e animais.

A descrição do ciclo hidrológico pode ser iniciada a partir do vapor de água presente na atmosfera que condensam-se sob determinadas condições meteorológicas e formam microgotículas de água que, devido a turbulência natural, se mantêm suspensas no ar. O agrupamento das microgotículas com o vapor de água e mais eventuais partículas de poeira e gelo, formam as nuvens ou o nevoeiro, este último quando forma-se junto ao solo. Em nuvens com grande presença de umidade e núcleos de condensação, é formada uma grande quantidade de gotas com tamanho e peso suficientes para que a força da gravidade supere a turbulência normal do meio atmosférico e, assim, tornando possível a ocorrência da forma mais comum de precipitação, a chuva. Quando o vapor de água transforma-se diretamente em cristais de gelo que atingem tamanho e peso suficientes, a precipitação pode acontecer na forma de neve ou granizo (SILVEIRA, 2007).

As precipitações atmosféricas representam, no ciclo hidrológico, o importante papel de elo de ligação entre os fenômenos meteorológicos propriamente ditos e os do escoamento superficial, de interesse maior aos engenheiros (ALVAREZ; GARCEZ, 1988, p. 57).

Silveira (2007) destaca que quando a precipitação ocorre sobre solos com cobertura vegetal, parte do volume precipitado é interceptado em folhas e caules, de onde posteriormente evapora. Se a capacidade de armazenar água nas superfícies dos vegetais é excedida, ou por ação dos ventos, a água interceptada pode reprecipitar para a superfície do solo.

Quando a água atinge o solo ela segue vários caminhos e, como o solo é um meio poroso, ocorre infiltração de toda precipitação que chega até ele, enquanto este não satura (SILVEIRA, 2007).

O processo de infiltração então passa a decrescer até uma taxa residual a partir do momento da saturação superficial.

As águas provenientes das precipitações que venham a ficar retidas no terreno ou a escoar superficialmente podem se infiltrar no solo por efeito da gravidade ou de capilaridade, passando a formar a fase subterrânea do ciclo hidrológico (ALVAREZ; GARCEZ, 1988, p. 199).

A Infiltração é, portanto, o processo de penetração da água no solo pelas camadas mais próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo sob a ação da gravidade, por entre os vazios, até atingir uma camada suporte que a retém. Uma vez que é responsável pela recarga de aquíferos e influencia diretamente o escoamento superficial, é uma das etapas mais importantes no ciclo hidrológico. O escoamento subterrâneo, por sua vez, é responsável por alimentar os cursos de água durante os períodos de estiagem (BELTRAME; LOUZADA; SILVEIRA, 2007).

Já o escoamento superficial é definido por Alvarez e Garcez (1988) como: “Fase do ciclo hidrológico que trata do conjunto das águas que, por efeito da gravidade, se desloca na superfície da terra”. Assim, qualquer volume de água que chega ao solo, saturado ou impermeável, e escoa superficialmente até os grandes cursos de água que desembocam no mar são parte do escoamento superficial. Com relação à engenharia, é uma das fases mais importantes do ciclo hidrológico (ALVAREZ; GARCEZ, 1988).

O escoamento da água que alcança a superfície do terreno acontece, portanto, após a intensidade da precipitação exceder a capacidade de infiltração do solo e depois de serem preenchidas as depressões acumuladoras da superfície. Este tipo de escoamento é impulsionado pela gravidade para as cotas mais baixas e vence o atrito com a superfície do solo, manifestando-se inicialmente como filetes de água que se moldam ao microrrelevo do solo. Aliada à topografia existente, a erosão de partículas de solo, causada pelos filetes,

molda uma microrrede de drenagem que converge para cursos de água mais estáveis, como rios (SILVEIRA, 2007).

A presença de vegetação na superfície do solo contribui para obstaculizar o escoamento superficial, favorecendo a infiltração em percurso. A vegetação também reduz a energia cinética de impacto das gotas de chuva no solo, minimizando a erosão (SILVEIRA, 2007, p. 37).

Alvarez e Garcez (1988) afirmam ainda que o escoamento superficial é intimamente ligado às precipitações atmosféricas e que a análise quantitativa da correlação dos dois fenômenos é importante para o estudo da previsão de cheias dos cursos de água, diferentemente do escoamento subterrâneo que não é muito influenciado pelas precipitações.

Barbosa Júnior (2015) destaca vários fatores que influenciam o escoamento superficial – como fatores climáticos – relacionados à intensidade e duração das precipitações que implica sobre as condições de umidade do solo; fatores fisiográficos quanto à área, forma e topografia da bacia hidrográfica<sup>1</sup>, a capacidade de infiltração e a permeabilidade do solo; além de obras hidráulicas como uma barragem, que acumula água em seu reservatório, reduz as vazões máximas de escoamento superficial e retarda a sua propagação à jusante.

## 2.2 EFEITOS DA URBANIZAÇÃO

Segundo Tucci (2008) o desenvolvimento urbano se acelerou a partir da segunda metade do século XX com a concentração da população em espaço reduzido, gerando grande competição por recursos naturais (solo e água), destruindo parte da biodiversidade natural.

Durante o processo de urbanização de uma região ocorre o aumento da densidade de ocupação por edificações e obras de infraestrutura viárias, resultando em grandes áreas impermeáveis, aumento das velocidades de escoamento superficial e a redução de recarga do lençol freático (PINHEIRO; PINTO, 2006).

De acordo com Tucci (2008) as águas provenientes das chuvas podem produzir grandes inundações e impactos em áreas urbanas por razão de dois processos que podem ocorrer isoladamente ou combinados:

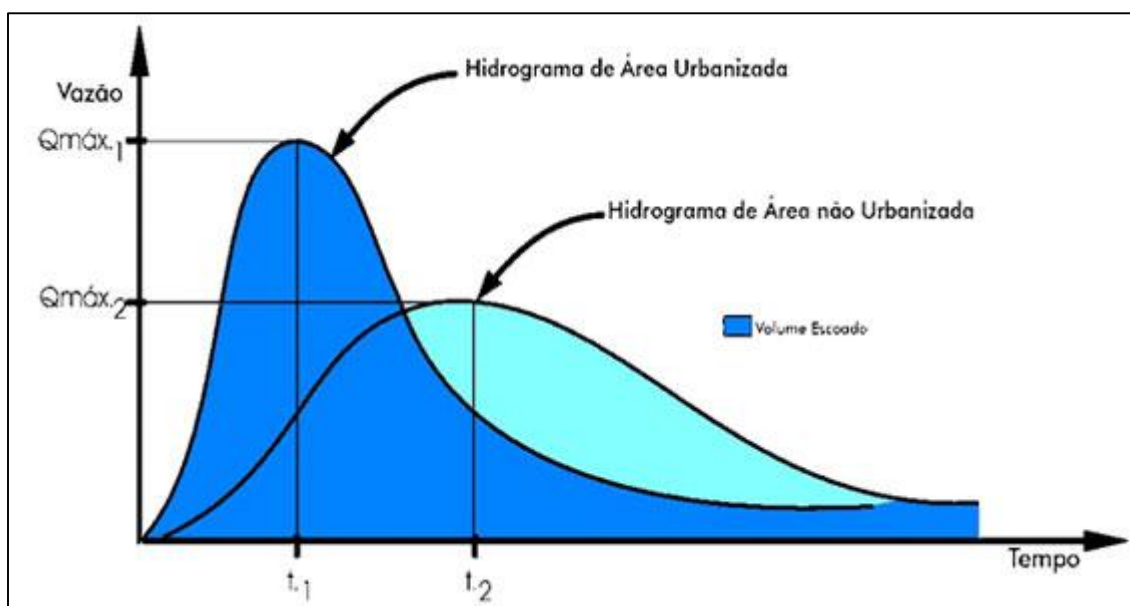
---

<sup>1</sup> Bacia hidrográfica pode ser considerada um sistema físico onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, considerando-se como perdas intermediárias os volumes evaporados e transpirados e também os infiltrados profundamente (SILVEIRA, 2007, p. 41).

- Inundações de áreas ribeirinhas: são inundações naturais que ocorrem no leito maior dos rios devido a variabilidade temporal e espacial de chuvas e do escoamento na bacia hidrográfica;
- Inundações em razão da urbanização: são as inundações ocasionadas no sistema de drenagem urbana causadas pelo efeito da impermeabilização do solo, canalização do escoamento ou obstruções ao escoamento.

Porto et al. (2007) define que as alterações do escoamento superficial direto são as principais consequências da urbanização. Segundo o autor, estas alterações estão diretamente relacionadas ao crescimento das vazões máximas de cheia, com a área urbanizada da bacia e à área servidas por obras de drenagem. Como pode ser observado na Figura 1, o pico de cheia é significativamente maior em uma bacia urbanizada quando comparado ao pico desta em condições naturais.

Figura 1 - Efeito da urbanização sobre a vazão máxima.



Fonte: Metalica (2015).

Tabela 1 explica as relações de causa e efeito de problemas resultantes de processos que ocorrem em áreas urbanas. Observa-se que se referem especialmente ao aproveitamento de recursos hídricos, controle de poluição e controle de inundações (PORTO et al., 2007).

Tabela 1 - Causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas.

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilização	Maiores picos e vazões.
Redes de Drenagem	Maiores picos a jusante.
Lixo	Degradação da qualidade da água; Entupimento de bueiros e galerias.
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade da água; Moléstias de veiculação hídrica; Inundações: consequências mais sérias.
Desmatamento e Desenvolvimento Indisciplinado	Maiores picos e volumes; Mais erosão; Assoreamento em canais e galerias.
Ocupação de várzeas	Maiores prejuízos; Maiores picos; Maiores custos de utilidades públicas.

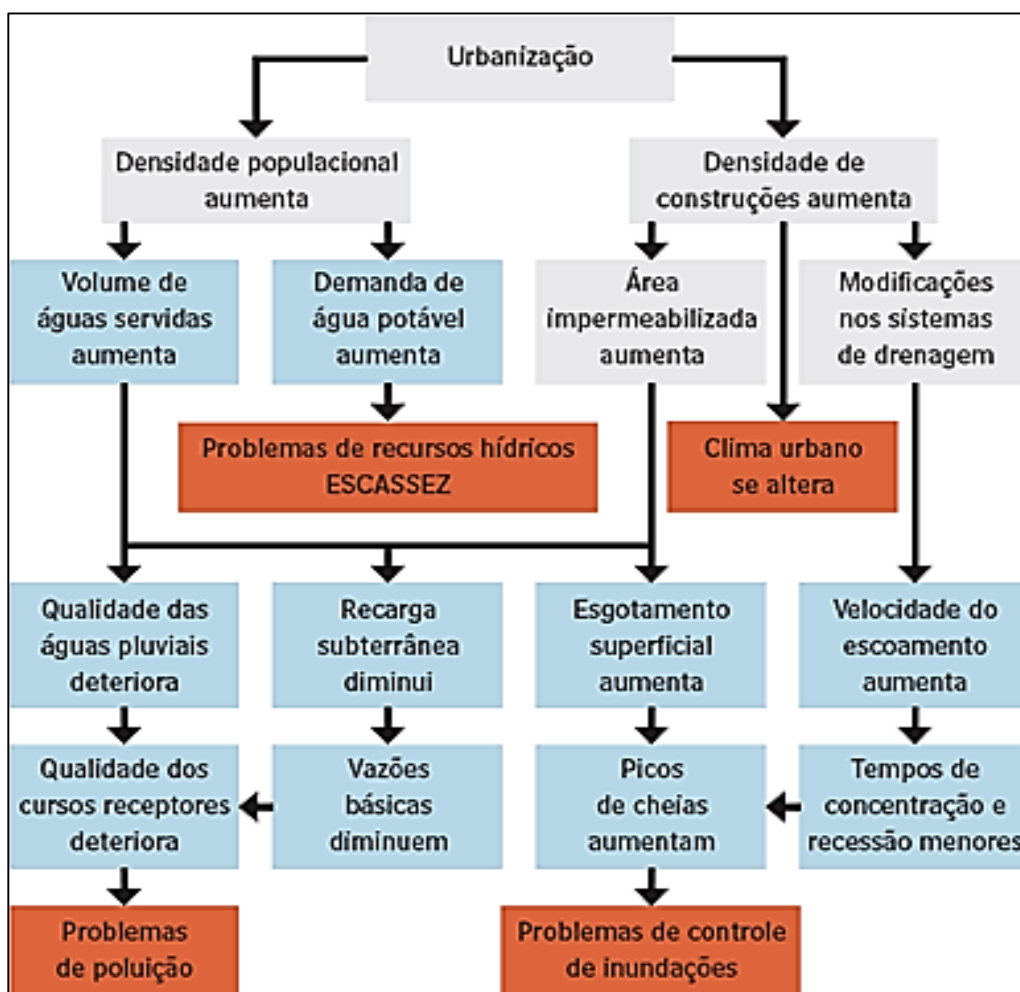
Fonte: Adaptado de Porto et al. (2007).

Segundo Porto et al. (2007) a urbanização também pode gerar consequências não hidrológicas que interferem significativamente os sistemas de drenagem urbana.

Tucci (2008, p. 106) afirma que: “O desenvolvimento urbano pode também produzir obstruções ao escoamento, como aterros, pontes, drenagens inadequadas, obstruções ao escoamento junto a condutos e assoreamento.”

A Figura 2 apresenta alguns processos que a urbanização de uma área pode desencadear.

Figura 2 - Efeitos da urbanização.



Fonte: Barreto (2006, apud HALL, 1984).

Nota-se, na Figura 2, que os efeitos da urbanização podem provocar consequências hidrológicas que se relacionam, gerando como produto final impactos ambientais característicos de áreas urbanas, que são: escassez de recursos hídricos, clima urbano alterado, problemas de poluição e problemas de controle de inundações.

### 2.3 HIDROLOGIA URBANA

Segundo Porto et al. (2007, p. 811), hidrologia urbana pode ser definida como: “estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização”.

A grande maioria dos estudos de hidrologia urbana é voltada à análise do escoamento superficial e, conseqüentemente, direcionados a sistemas de proteção contra fenômenos catastróficos provocados pelo movimento da água na superfície urbana, como cheias, deslizamentos, etc. Sendo assim, a hidrologia urbana é um ramo da hidrologia

destinada ao estudo dos impactos do desenvolvimento das cidades no ciclo urbano da água e as formas de minimizar seus efeitos (LIMA, 2010).

Geralmente, em áreas urbanas, as ruas são asfaltadas e o passeio público tem calçamento, ou seja, há impermeabilização do solo. Quando ocorre precipitação sobre a cidade, a água deve, então, ser conduzida para os cursos de água, porém de maneira diferente da situação original. Assim, temos o sistema de drenagem artificial (SANTOS, 2007).

A Figura 3 apresenta o procedimento padrão de um estudo de drenagem urbana.

**Figura 3 - Sequência de passos de um estudo de drenagem urbana.**

Política: Propósitos, Estratégia, Planejamento		
Aspectos sociais e econômicos	PASSO 1	Escolha do período de retorno
Meteorologia	PASSO 2	Determinação da tormenta de projeto
Hidrologia; Pedologia; Uso do solo	PASSO 3	Determinação do escoamento superficial direto
Hidrologia	PASSO 4	Determinação das vazões de projeto
Hidráulica	PASSO 5	Dimensionamento da estruturas hidráulicas

**Fonte: Porto et al. (2007, apud HALL, 1984).**

Como observado na Figura 3, um estudo de drenagem urbana envolve não somente aspectos hidrológicos, mas é composto por uma sequência de passos que dependem, principalmente, dos aspectos sociais e econômicos adotados no início do processo, para a escolha do período de retorno. Essa etapa definirá a variável  $T_r$  (período de retorno) que, juntamente com o Tempo de concentração ( $T_c$ ), são necessárias para o cálculo da intensidade da precipitação de projeto ( $I$ ) – principal variável na determinação da vazão de projeto dos elementos de drenagem e, portanto, fundamental para definição do porte do projeto.

### 2.3.1 Escolha do Período de Retorno

O risco de uma vazão ou precipitação é entendido como a probabilidade ( $p$ ) de ocorrência de um valor igual ou superior desta num ano qualquer. O tempo ou período de

retorno ( $Tr$ ) é o inverso da probabilidade ( $p$ ) (Equação 1) e representa o tempo, em média, que este evento tem chance de se repetir (PORTO ALEGRE, 2005).

$$Tr = \frac{1}{p} \quad (1)$$

Porto et al. (2007) afirma que o período de retorno indica o grau de proteção conferido à população em relação à capacidade de uma obra, uma vez que esta será projetada para uma vazão com período de retorno  $Tr$  anos.

Além da segurança quanto à enchentes, o período de retorno adotado para um projeto também define sua dimensão de investimentos. A análise adequada para a escolha do tempo de retorno envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos. Esta prática, no entanto, é inviável devido ao alto custo do próprio estudo, principalmente quando a área estudada possui pequenas dimensões (PORTO ALEGRE, 2005).

Vale ressaltar que, em áreas urbanas, quanto maior o tempo de retorno maior será o porte das obras e, portanto, não só o custo será elevado mas também a interferência e impactos no ambiente urbano (PORTO et al., 2007).

Devido as dificuldades de estabelecer de forma clara e objetiva o período de retorno adequado no cálculo de vazões, a escolha geralmente recai sobre valores aceitos de forma ampla no meio técnico que são pré-estabelecidos de acordo com a característica da área em estudo.

Desta forma, os riscos usualmente adotados em projetos de drenagem são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana**

Sistema	Característica	Intervalo $Tr$ (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 – 5	2
	Comercial	2 – 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 – 5	5
	Aeroporto	5 – 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 – 10	10
Macrodrenagem	-	10 – 25	10

---

Zoneamento de áreas ribeirinhas	-	5 – 100	100
---------------------------------	---	---------	-----

---

Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005).

### 2.3.2 Tempo de Concentração

Tempo de concentração ( $t_c$ ) pode ser definido como o tempo de percurso de uma gota d'água precipitada desde o ponto mais afastado da bacia hidrográfica até o ponto de referência. É uma grandeza de grande importância para o entendimento do escoamento produzido na bacia estudada e também para o dimensionamento de sistemas de drenagem, armazenamento e controle (CAETANO et al., 2007).

A determinação do tempo de concentração é uma informação importante, porém difícil de ser obtida. Segundo Tomaz (2013, apud MCCUEN 1993) o projetista deve saber que não é possível obter o valor do tempo de concentração por um simples método e o verdadeiro valor nunca será determinado. Ainda segundo o autor, vários hidrologistas podem encontrar diferentes valores de tempo de concentração através de vários métodos. Por esse motivo, o tempo de concentração introduz incertezas no dimensionamento da vazão de pico, devendo-se sempre conferir os valores.

Existem várias fórmulas empíricas para determinar o valor do tempo de concentração.

Alguns valores mínimos de tempo de concentração são recomendados para diferentes tipos de bacias de pequenas dimensões (TOMAZ, 2013, apud MOTH, 1998):

- i) urbana - 5 minutos;
- ii) residencial - 10 minutos e
- iii) rural - 15 minutos.

Segundo Caetano et al. (2007, apud WSDOT, 1997, p. 527): “o valor de tempo de concentração a adotar no estudo hidrológico não deve ser nunca inferior a 5 minutos.”

Em obras de microdrenagem, em casos quando a área a montante for urbanizada ou estiver em processo de urbanização, estando o divisor de águas a uma distância aproximada de 60 metros, o tempo de concentração inicial pode ser obtido pela Tabela 3 (RIO DE JANEIRO, 2010):

**Tabela 3 - Tempo de concentração para áreas urbanizadas.**

Tipologia da área a montante	Declividade da sarjeta	
	< 3%	> 3%
Áreas de construções densas	10 min	7 min
Áreas residenciais	12 min	10 min
Parques, jardins, campos	15 min	12 min

Fonte: adaptado de Rio de Janeiro (2010).

### 2.3.3 Intensidade de precipitação

“A precipitação é a principal informação hidrológica de entrada utilizada no cálculo das vazões de projeto das obras de drenagem pluvial.” (PORTO ALEGRE, 2005, p. 22).

Segundo o Manual de drenagem urbana da cidade de Porto Alegre (2005, p. 22): “A precipitação de projeto é [...] um evento crítico de chuva construído artificialmente com base em características estatísticas da chuva natural e com base em parâmetros de resposta da bacia hidrográfica”. O Manual indica ainda que os elementos básicos para cálculo da precipitação de projeto são:

- período de retorno da precipitação de projeto (anos);
- duração crítica do evento (min).

“As chuvas intensas são caracterizadas por sua intensidade (I), duração (D) e frequência (F) de ocorrência, podendo ser representadas por equações denominadas IDF (Equação 2).” (AMARAL et al., 2012, p. 1000).

$$I = \frac{K \times TR^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

em que:

I - intensidade de precipitação, mm h<sup>-1</sup>;

TR - período de retorno, em anos;

t - tempo de duração da chuva, em min;

K, a, b, c – constantes – parâmetros a serem determinados para a localidade em questão.

Para a obtenção das equações IDF são necessários dados pluviográficos e estes devem apresentar validade regional. Para uma estimativa mais eficiente das equações é

necessário a utilização de séries longas de dados observados. (AMARAL et al., 2012, apud GENOVEZ; ZUFFO, 2000, SANTOS et al., 2009).

As equações de chuvas intensas têm sido usadas como ferramenta importante para a elaboração de projetos de obras hidráulicas, como dimensionamento de vertedores, retificação de cursos d'água, galerias de águas pluviais, bueiros, sistemas de drenagem agrícola, urbana e rodoviária (AMARAL et al., 2012, apud Beijo et al., 2003; Mello et al., 2008; Oliveira et al., 2008, p. 1000).

De acordo com as Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana da cidade do Rio de Janeiro (2010), o tempo de duração da chuva (duração crítica do evento) para o dimensionamento de estruturas de microdrenagem, onde as vazões são determinadas pelo método racional modificado, deve ser igual ao tempo de concentração determinado.

Em seu trabalho, Amaral et al. (2012) definiu os parâmetros (K, a, b e c) a serem utilizados na equação de chuvas IDF para diversos municípios do Estado do Pará. Alguns resultados estão expressos na Tabela 4.

“Com os valores obtidos de chuvas máximas para diferentes durações e tempos de retorno, estimaram-se os parâmetros da equação que expressa a relação IDF (Equação 2) para cada estação observada”. (Amaral et al., 2012, p. 1001).

**Tabela 4 - Coeficientes “K”, “a”, “b” e “c” das equações de chuvas intensas ajustadas para várias localidades do Estado do Pará.**

<b>Município</b>	<b>K</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>Séries Históricas (anos)</b>
Tailândia	1089,9101	0,1157	9,7896	0,7243	16
Tomé-Açu	1038,3348	0,0833	9,7931	0,7244	25
Tucuruí	1264,6709	0,1012	9,7852	0,7242	23
Vigia	1071,4102	0,0921	9,7815	0,7241	28
Viseu	0873,5618	0,0928	9,7850	0,7242	33

Fonte: adaptado de Amaral et al. (2012).

#### 2.3.4 Determinação da vazão de projeto: Método Racional

“O método racional é um método indireto e foi apresentado pela primeira vez em 1851 por Mulvaney e usado nos Estados Unidos por Emil Kuichling em 1889 e estabelece uma relação entre a chuva e o escoamento superficial.” (TOMAZ, 2013, p. 2).

Para bacias de drenagem que não apresentam complexidade e que tenham áreas de drenagem inferiores a aproximadamente 3 km<sup>2</sup> é recomendado

que a descarga de projeto seja analisada pelo denominado Método Racional. Embora criticado por sua simplicidade, é um método largamente aceito e conduz a resultados satisfatórios, quando aplicado dentro de seus limites de validade (SÃO PAULO, 1999, p 66).

Os princípios básicos de aplicação do método racional são (SÃO PAULO, 1999):

1) a duração da precipitação máxima de projeto é igual ao tempo de concentração da bacia. Admite-se que a bacia é pequena para que esta condição aconteça, pois a duração é inversamente proporcional à intensidade;

2) adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C , estimado a partir das características da bacia;

3) não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

A Equação 3 representa a fórmula racional do modelo.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (3)$$

onde:

Q - vazão em m<sup>3</sup> /s;

C - coeficiente de escoamento, adimensional;

I - intensidade em mm/h;

A - área da bacia em km<sup>2</sup>.

O Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre<sup>2</sup> (2005) apresenta os coeficientes de escoamento recomendados para as superfícies urbanas de acordo com a superfície de revestimento. Os valores estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5 – Valores de C de acordo com superfícies de revestimento.**

Descrição da área	C
<b>Pavimento:</b>	
Asfalto	0,70 - 0,95
Concreto	0,80 – 0,95
Calçadas	0,75 – 0,85
Telhado	0,75 – 0,95
<b>Cobertura: grama/areia</b>	
Plano (declividade 2%)	0,05 – 0,10
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,10 – 0,15

<sup>2</sup> PORTO ALEGRE (Cidade). **Plano diretor de drenagem urbana**: Manual de drenagem urbana. Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v 6, set. 2005.

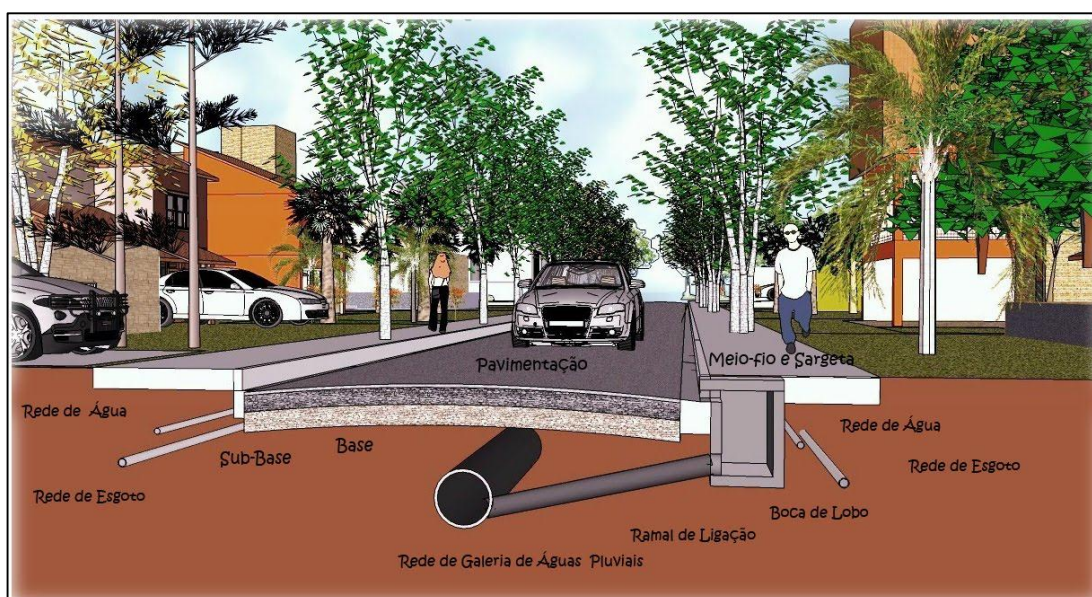
Alta (declividade 7%)	0,15 – 0,20
<b>Gramma, solo pesado:</b>	
Plano (declividade 2%)	0,13 – 0,17
Médio (declividade de 2 a 7%)	0,18 – 0,22
Alta (declividade 7%)	0,25 – 0,35

Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005, apud ASCE, 1969).

## 2.4 DRENAGEM URBANA

O desenvolvimento urbano e tecnológico, aliado ao crescimento das cidades, impôs a viabilidade econômica de investimentos que desenvolvessem o saneamento das áreas urbanas e a execução de obras de drenagem (Figura 4), a fim de garantir o bem-estar da população e minimizar os efeitos da impermeabilização do solo sobre o ciclo hidrológico (RIGHETTO, 2009).

Figura 4 - Esquemática do sistema de drenagem pluvial urbano.



Fonte: Krolow (2010)

Segundo a definição de Santos (2007, p. 108), drenagem é: “o termo dado ao sistema natural ou artificial condutor de água pluvial ou subterrânea para fora de uma determinada área”.

O sistema de drenagem faz parte do conjunto de melhoramentos públicos existentes em uma área urbana, assim como as redes de água, de esgotos sanitários, de cabos elétricos e telefônicos, além da iluminação pública, pavimentação de ruas, guias e passeios, parques, áreas de lazer, e outros (SÃO PAULO, 1999, p. 10).

O sistema de drenagem urbana é dividido em dois sistemas distintos: a microdrenagem e a macrodrenagem.

A microdrenagem é o sistema inicial de drenagem que coleta as águas pluviais através de canais. É dimensionado para a drenagem de precipitações com risco moderado, com escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Se bem projetado e com manutenção adequada, elimina os problemas como as inundações e interferências de enxurradas (SÃO PAULO, 1999).

Segundo Santos (2007, p. 110): “O sistema de macro-drenagem compreende os fundos de vale, que fazem a drenagem das áreas maiores, aonde chegam os afluxos dos escoamentos das ruas e pequenas galerias.” São geralmente compostos por cursos d’água naturais que cortam as cidades e recolhem as águas do sistema de microdrenagem.

#### 2.4.1 Medidas de Controle Estruturais e Não-Estruturais

Visando solucionar os problemas causados pelas inundações utiliza-se um conjunto de medidas que tenham por objetivo minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica, segura e sustentável. Estas medidas para controle de cheias podem ser classificadas em medidas estruturais e não-estruturais (ENOMOTO; FILHO; SZÉLIGA, 2000).

##### a) Medidas Estruturais

Segundo Dziejic e Krüger (2011) as medidas estruturais fundamentalmente envolvem obras de engenharia que modificam as características hidráulicas dos rios ou protegem uma determinada área dos efeitos das inundações.

Canholi (2005) ainda divide as medidas estruturais em intensivas e extensivas, sendo que as primeiras podem ser de quatro tipos:

- de aceleração do escoamento: canalização e obras correlatas;
- de retardamento do fluxo: reservatórios (bacias de detenção/ retenção), restauração de calhas naturais;
- de desvio do escoamento: tuneis de derivação e canais de desvio;
- e que englobem a introdução de ações individuais visando tornar as edificações a prova de enchentes.

Já as medidas estruturais extensivas, segundo Canholi (2005), correspondem aos pequenos armazenamentos disseminados na bacia, a recomposição de cobertura vegetal e ao controle de erosão do solo, ao longo da bacia de drenagem.

#### b) Medidas Não-Estruturais

As medidas não-estruturais são caracterizadas por reduzir os danos ou as consequências das inundações, sem a construção de obras, mas pela introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, o disciplinamento do uso e ocupação do solo e a conscientização da população para a manutenção dos diversos dispositivos de drenagem (CANHOLI, 2005).

Dziedzic e Krüger (2011) acrescentam como medidas não-estruturais os estudos de medidas de prevenção de enchentes, mapeamento e zoneamento das regiões inundáveis e sistemas de alerta. Os autores ainda destacam que, se trabalhadas em conjunto com as medidas anteriores, as medidas não-estruturais podem produzir uma grande minimização dos prejuízos, com um custo bem menor.

### 2.4.2 MICRODRENAGEM

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005, p. 79): “A microdrenagem urbana é definida pelo sistema de condutos pluviais no loteamento ou na rede primária urbana.”

Para o dimensionamento de uma rede de águas pluviais devem-se seguir as seguintes etapas (SÃO PAULO, 1999):

- 1) subdivisão da área e traçado;
- 2) determinação das vazões que afluem à rede de condutos;
- 3) dimensionamento da rede de condutos.

O sistema de microdrenagem é composto por (PORTO et al., 2012):

a) Galeria: canalizações públicas destinadas a conduzir as águas pluviais provenientes das bocas de lobo e das ligações privadas;

b) Poço de Visita: dispositivos localizados em pontos convenientes do sistema de galerias que permitem: mudança de direção, mudança de declividade, mudança de diâmetro e inspeção e limpeza das canalizações;

c) Trecho: porções de galerias situadas entre dois poços de visita;

d) Bocas de lobo: dispositivos localizados em ponto convenientes nas sarjetas para captação das águas pluviais;

e) Tubos de ligação: são canalizações destinada a conduzir as águas pluviais captadas na bocas de lobo para as galerias ou para os poços de visita;

f) Meio-fio: elementos de pedra ou concreto colocados entre o passeio e a via pública, paralelamente ao eixo da rua e com sua face superior no mesmo nível do passeio;

g) Sarjetas: faixas de via pública paralelas e vizinhas ao meio-fio. A calha formada é a receptora das águas pluviais que incidem sobre as vias públicas;

h) Sarjetões: calhas localizadas no cruzamento de vias públicas. Podem ser formadas pela sua própria pavimentação ou construídas em outro material e são destinadas a orientar o escoamento das águas sobre as sarjetas de um trecho a outro;

i) Conduitos forçados: obras destinadas à condução das águas superficiais coletadas de maneira segura e eficiente, sem preencher completamente a seção transversal do conduto;

j) Estações de bombeamento: conjunto de obras e equipamentos destinados a retirar água de um canal de drenagem quando não mais houver condições de escoamento por gravidade, para um outro canal em nível mais elevado ou receptor final da drenagem em estudo.

“Os principais dados necessários à elaboração de um projeto de rede pluvial de microdrenagem são os seguintes” (PORTO ALEGRE, 2005, p. 79):

1) Mapas:

- mapa de situação da localização da área dentro do município;
- planta geral da bacia contribuinte: escalas 1:5.000 ou 1:10.000, juntamente com a localização da área de drenagem. No caso de não existir planta plani-altimétrica da bacia, deve ser delimitado o divisor topográfico por poligonal nivelada;

- planta plani-altimétrica da área do projeto na escala 1:2.000 ou 1:1.000, com pontos cotados nas esquinas e em pontos notáveis.

2) Levantamento Topográfico: o nivelamento geométrico em todas as esquinas, mudança de direção e mudança de greides das vias públicas;

3) Cadastro: de redes existentes de esgotos pluviais ou de outros serviços que possam interferir na área de projeto;

4) Urbanização: devem-se selecionar os seguintes elementos relativos à urbanização da bacia contribuinte, nas situações atual e previstas no plano diretor:

- tipo de ocupação das áreas (residências, comércio, praças, etc.);
- porcentagem de área impermeável projetada de ocupação dos lotes;
- ocupação e recobrimento do solo nas áreas não urbanizadas pertencentes à bacia.

5) Dados relativos ao curso de água receptor: as informações são as seguintes:

- indicações sobre o nível de água máximo do canal/arroio que irá receber o lançamento final;
- levantamento topográfico do local de descarga final.

Adicionalmente, em função da configuração a ser definida será necessário o levantamento de áreas específicas para detenção do escoamento.

#### 2.4.2.1 *Definição do esquema geral do projeto*

Devem ser estudados diversos traçados da rede de galerias levando em consideração os dados topográficos, o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico, a fim de escolher o melhor traçado para a economia global do sistema. Algumas regras básicas para o traçado da rede são (PORTO et al. 2012, p. 825):

- 1) os divisores de bacias e as áreas contribuintes a cada trecho deverão ficar convenientemente marcadas nas plantas;
- 2) os trechos em que o escoamento se dê apenas nas sarjetas devem ficar identificados por meio de setas;
- 3) as galerias pluviais, sempre que possível, deverão ser lançadas sob os passeios;
- 4) o sistema coletor em uma determinada via poderá constar de uma rede única, recebendo ligações de bocas de lobo de ambos os passeios;
- 5) a solução mais adequada em cada rua é estabelecida economicamente em função da sua largura e condições de pavimentação.

Os componentes da rede hidráulica devem atender aos seguintes critérios (SÃO PAULO, 1999, p. 217):

- Bocas de Lobo: as bocas de lobo devem ser localizadas de maneira a conduzirem adequadamente as vazões superficiais para as galerias. Nos pontos mais baixos do sistema viário deverão ser necessariamente colocadas bocas de lobo com visitas a fim de se evitar a criação de zonas mortas com alagamento e águas paradas.

- Poços de Visita: os poços de visita devem atender às mudanças de direção, de diâmetro e de declividade, à ligação das bocas de lobo, ao entroncamento dos diversos trechos e ao afastamento máximo admissível.

- Galerias Circulares: o diâmetro mínimo das galerias de seção circular deve ser de 0,30 m. Os diâmetros correntes são: 0,30; 0,40; 0,50; 0,60; 1,00; 1,20; 1,50 m. Alguns dos critérios básicos são os seguintes:

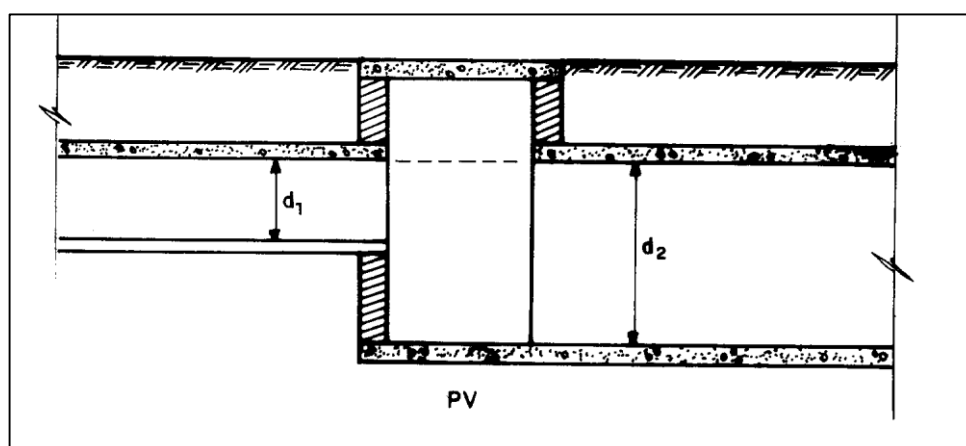
- i) as galerias pluviais são projetadas para funcionarem a seção plena com vazão de projeto. A velocidade máxima admissível determina-se em função do material a ser

empregado na rede. Para tubo de concreto a velocidade máxima admissível é de 5,0 m/s e a velocidade mínima 0,60 m/s;

ii) o recobrimento mínimo da rede deve ser de 1,0 m, quando forem empregados tubulações sem estruturas especiais. Quando, por condições topográficas, forem utilizados recobrimentos menores, as canalizações deverão ser projetadas do ponto de vista estrutural;

iii) nas mudanças de diâmetro os tubos deverão ser alinhados pela geratriz superior, como indicado na Figura 5.

**Figura 5 - Alinhamento dos condutos.**



Fonte: São Paulo (1999).

#### 2.4.2.2 Disposição dos componentes

O Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (2005, p. 83) define a disposição correta dos componentes do sistema de microdrenagem urbana:

- Coletores: existem duas hipóteses para a locação da rede coletora de águas pluviais: (i) no passeio, a 1/3 da guia (meio-fio) e (ii) a menos utilizada, sob o eixo da via pública. Além disso, deve possibilitar a ligação das canalizações de escoamento das bocas de lobo.

- Bocas de lobo - a locação das bocas de lobo deve considerar as seguintes recomendações:

- 1) serão locadas em ambos os lados da rua, quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento;
- 2) serão locadas nos pontos baixos da quadra;

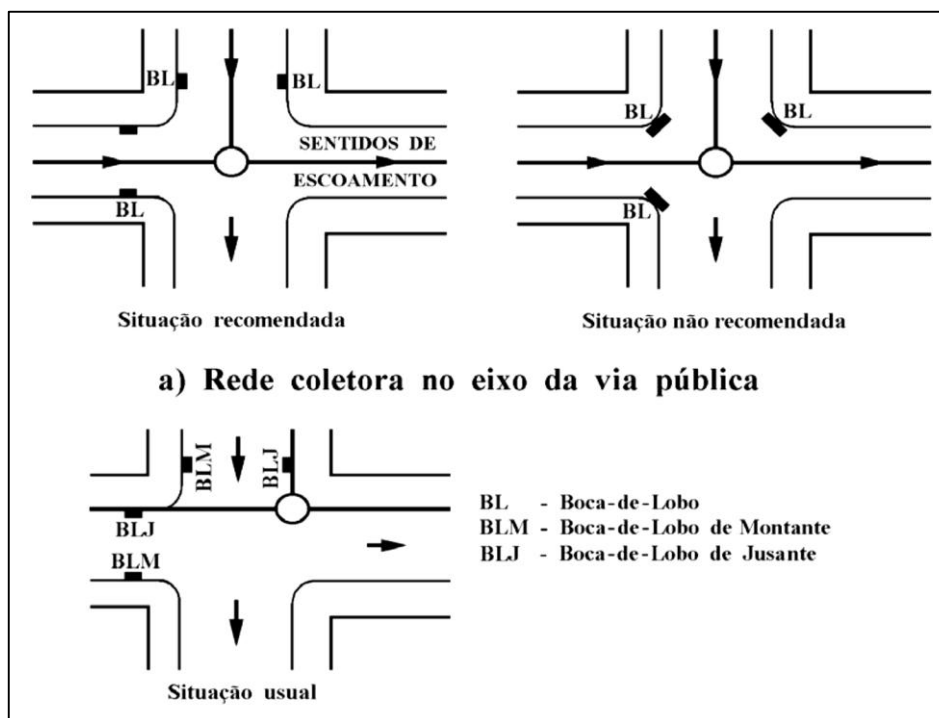
3) a localização das bocas de lobo deve ser determinada através do cálculo da capacidade hidráulica da sarjeta, considerando-se uma altura do meio-fio de 0,15 m e uma largura da lâmina d'água variável;

4) a melhor solução para a instalação de bocas de lobo é que esta seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;

5) não é conveniente a sua localização junto ao vértice de ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes, pelos seguintes motivos: (i) os pedestres, para cruzarem uma rua, teriam que saltar a torrente num trecho de máxima vazão superficial; (ii) as torrentes convergentes pelas diferentes sarjetas teriam, como resultante, um escoamento de velocidade em sentido contrário ao da afluência para o interior da boca de lobo.

A Figura 6 apresenta as formas de locação dos componentes citados.

**Figura 6 – Locação dos componentes de drenagem urbana.**



Fonte: Porto Alegre (2005).

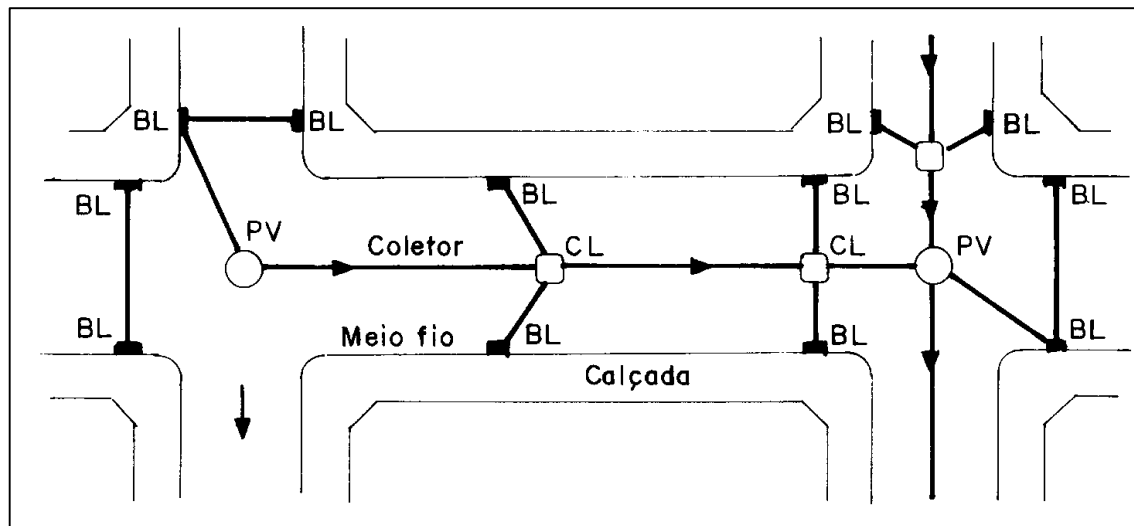
- Poços de visita e de queda: o poço de visita tem a função primordial de permitir o acesso às canalizações para limpeza e inspeção, de modo que se possam mantê-las em bom estado de funcionamento. Sua locação é sugerida nos pontos de mudanças de direção, cruzamento de ruas (reunião de vários coletores), mudanças de declividade e mudança de diâmetro.

Porto et al. (2007, p.827) também define o posicionamento de caixas de ligação:

- As caixas de ligação são utilizadas quando se faz necessária a locação de bocas de lobo intermediárias ou para se evitar a chegada em um mesmo poço de visita de mais de

quatro tubulações. Sua função é similar à do poço de visita, dele diferenciando-se por não serem visitáveis. Na Figura 7, são mostrados exemplos de localização de caixas de ligação e poços de visita.

Figura 7 - Localização das caixas de ligação.



Fonte: Porto et al. (2007).

### 2.4.3 Estruturas de dissipação de energia

A Instrução de Projeto do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (2006, p. 6) define estruturas de dissipação de energia como: “[...] dispositivos destinados a dissipar energia do escoamento, reduzindo a velocidade da água para evitar a erosão.”

Os dissipadores de energia devem ser previstos no final de descidas d’água, de valetas ou de qualquer dispositivo que venha a desaguar diretamente sobre o terreno natural que, por suas características, seja passível de erosão. Os dissipadores também devem ser projetados para as saídas de bueiros com elevada declividade ou quando estas saídas ocorrerem em terreno natural facilmente erodível. (Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, 2006, p. 6).

O Álbum de Projetos-Tipo de Dispositivos de Drenagem do Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes (DNIT) (2006) apresenta projetos básicos de alguns dispositivos mais utilizados para dissipação de energia de escoamento. Dentre estes, as Figuras 8 e 9 apresentam o tipo mais indicado para saídas de bueiros tubulares.



## 2.5 DIMENSIONAMENTO HIDRÁULICO

### 2.5.1 Capacidade de condução das sarjetas

Ao caírem sobre áreas urbanas, as águas, inicialmente, escoam pelos terrenos até chegarem às ruas. Devido à declividade transversal das ruas e havendo declive longitudinal, as águas rapidamente escoarão para as sarjetas e, destas, ruas abaixo. Caso a vazão seja excessiva pode ocorrer (PORTO ALEGRE, 2005):

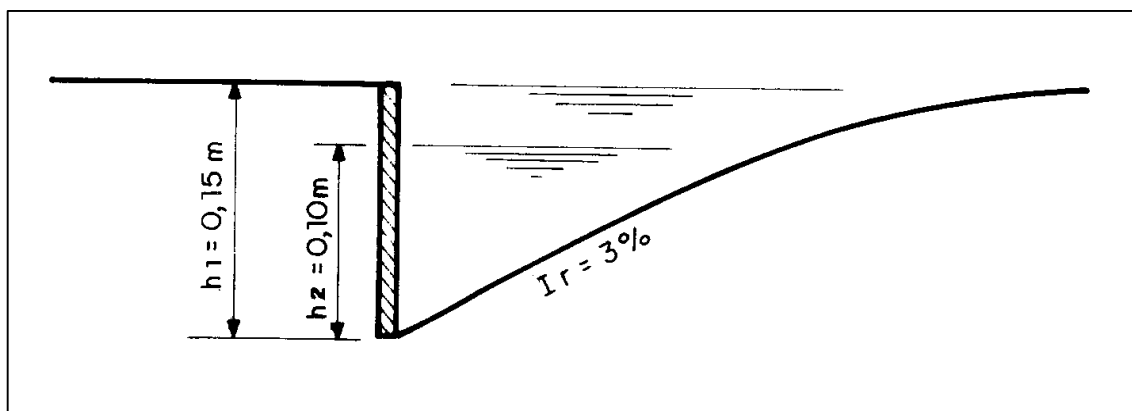
- (i) alagamento das ruas e seus reflexos;
- (ii) inundação de calçadas;
- (iii) velocidades exageradas, com erosão do pavimento.

São admitidas duas hipóteses para cálculo de capacidade de condução da rua ou da sarjeta:

- a água escoando por toda a calha da rua; ou
- a água escoando somente pelas sarjetas.

“Para a primeira hipótese, admitem-se a declividade da rua (seção transversal) de 3% (Figura 10) e a altura de água na sarjeta  $h_1 = 0,15$  m. Para a segunda hipótese, admite-se declividade também de 3% e  $h_2 = 0,10$  m” (PORTO et al. 2007, p. 829).

Figura 10 - Seção da sarjeta.



Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005).

Segundo o Manual de drenagem urbana da cidade de Porto Alegre (2005), o dimensionamento hidráulico de canais livres pode ser obtido pela equação de Manning transformada (Equação 4):

$$Q = \frac{A \times Rh^{2/3} \times S^{1/2}}{n} \quad (4)$$

onde:

Q: vazão (m<sup>3</sup>/s);

A: área de seção transversal (m<sup>2</sup>);

Rh: raio hidráulico (m);

S: declividade do fundo (m/m);

n: o coeficiente de rugosidade de Manning.

De acordo com a Instrução de Projeto do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo (2006), as sarjetas com seções triangulares em concreto com  $Z \geq 10$  devem ser dimensionadas a partir da fórmula de Manning modificada por Izzard (Equação 5) e as velocidades admissíveis devem estar compreendidas entre 0,50 m/s e 6,00 m/s.

$$Q = 0,375 \times \left(\frac{Z}{n}\right) \times I^{1/2} \times h^{8/3} \quad (5)$$

onde:

Q: vazão (m<sup>3</sup>/s);

Z: inverso de declividade transversal (m/m);

I: declividade longitudinal (m/m);

h: altura máxima de água na sarjeta (m);

n: coeficiente de rugosidade de Manning.

A velocidade de escoamento pode ser obtida pela expressão de Strickler-Manning (Equação 6) (PORTO et al., 2007):

$$V = K \times R^{2/3} \times S^{1/2} \quad (6)$$

onde:

V: velocidade na sarjeta (m/s);

S: declividade da rua (m/m);

K: coeficiente de rugosidade, adotado igual a 60 para pavimento comum de vias públicas;

R: raio hidráulico ( $R = A/P$ ; A = área e P = perímetro molhado) (m).

A Tabela 6 apresenta os valores do coeficiente de rugosidade de Manning que variam conforme as características de revestimento dos canais (sarjetas).

**Tabela 6 - Valores de n: Coeficiente de rugosidade de Manning.**

Características	n
Canais revestidos:	
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura	0,30 - 0,40
Canais retilíneos com capins de até 30 cm de altura	0,30 - 0,060
Galerias de concreto:	
Pré-moldado com bom acabamento	0,011 - 0,014
Moldado no local com formas metálicas simples	0,012 - 0,014
Moldado no local com formas de madeira	0,015 - 0,020
Sarjetas:	
Asfalto suave	0,013
Asfalto rugoso	0,016
Concreto suave com pavimento de asfalto	0,014
Concreto rugoso com pavimento de asfalto	0,015
Pavimento de concreto	0,014 - 0,017
Pedras	0,017

Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005).

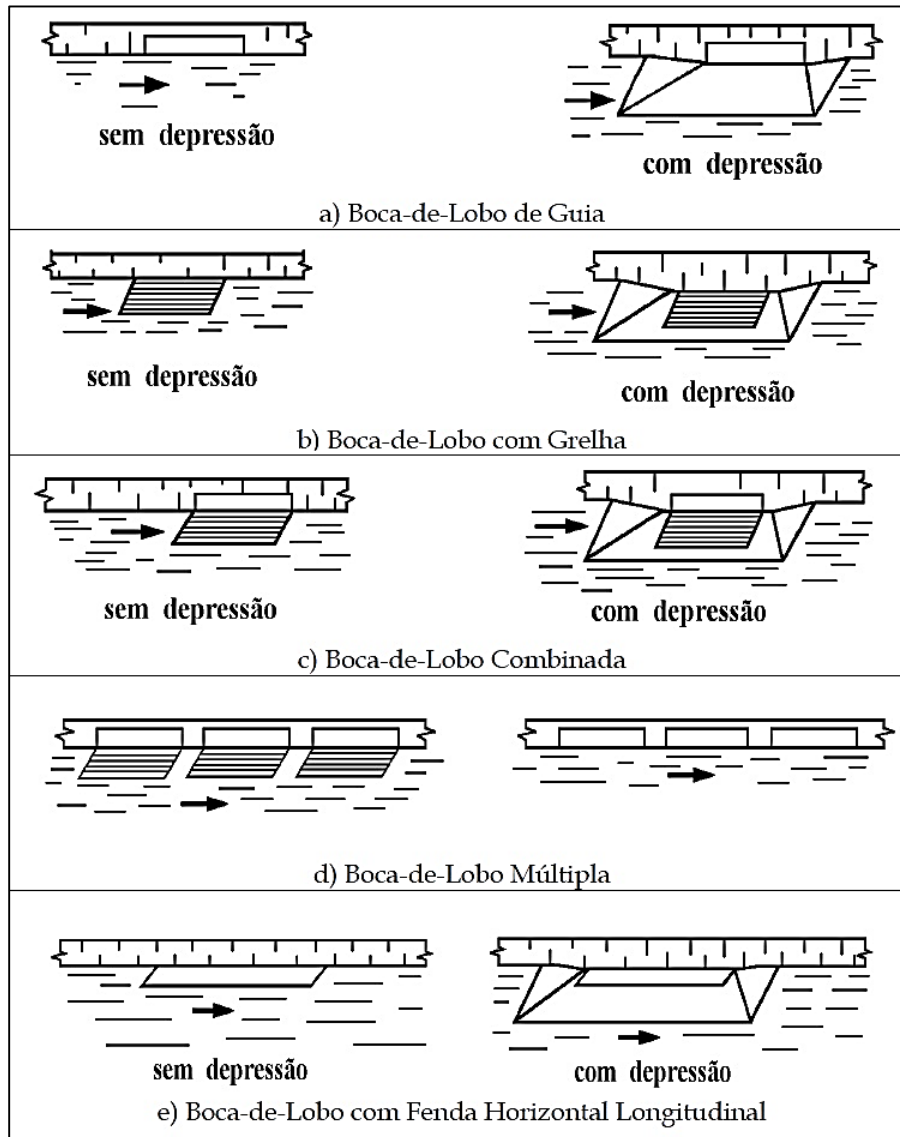
### 2.5.2 Bocas de lobo

Segundo Porto et al. (2007) as bocas coletoras (bocas de lobo) podem ser classificadas em três grupos principais:

- bocas ou ralos de guias;
- ralos de sarjetas (grelhas);
- ralos combinados.

Cada tipo ainda apresenta variações quanto às depressões (rebaixamento) em relação ao nível da superfície normal do perímetro e ao seu número (simples ou múltipla) (Figura 11) (PORTO et al., 2007).

Figura 11 - Tipos de boca de lobo.



Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005).

### 2.5.2.1 Capacidade de “engolimento” de bocas de lobo

Boca de lobo com abertura na guia:

Para este tipo de boca de lobo há duas hipóteses de cálculo de engolimento. Na primeira a água acumula sobre a boca de lobo gerando uma lâmina com altura menor do que a abertura da guia. Esse tipo de boca de lobo pode ser considerado um vertedor, e a capacidade de engolimento é calculada através da Equação 7 (PORTO ALEGRE, 2005):

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

onde:

Q: vazão de engolimento (m<sup>3</sup>/s);

L: comprimento da soleira (m);

y: altura de água próxima à abertura na guia (m), dada pela Equação 8:

$$y = 1,445 \left( \frac{Q_0}{Z_0 \frac{\sqrt{I}}{n}} \right)^{3/8} \quad (8)$$

onde:

y: altura de água próxima à abertura na guia (m);

Q<sub>0</sub> = vazão (m<sup>3</sup>/s);

Z<sub>0</sub> = inverso de declividade transversal (m/m);

I: declividade longitudinal (m/m);

n: coeficiente de rugosidade igual a 0,016.

A segunda hipótese é quando a altura de água sobre o local for maior do que o dobro da abertura na guia, a vazão será calculada pela Equação 9 (PORTO ALEGRE, 2005):

$$Q = 3,01 \times L \times h^{3/2} \times \left( \frac{y_1}{h} \right)^{1/2} \quad (9)$$

onde:

L: comprimento da abertura (m);

h: altura da guia (m);

y<sub>1</sub>: carga da abertura da guia (m) (Equação 7); (y<sub>1</sub> = y - h/2).

Já para cargas de uma a duas vezes a altura da abertura da guia (1 < y<sub>1</sub>/h < 2), a opção por um ou outro critério deve ser definida pelo projetista.

Boca de lobo com grelha:

Para profundidades de lâmina (Equação 7) até 12 cm, as bocas de lobo com grelha funcionam como um vertedor de soleira livre. A capacidade de engolimento é calculada pela Equação 5, substituindo-se L por P, onde P é o perímetro do orifício em m, porém, se um dos lados da grelha for adjacente à guia, este lado deverá ser excluído do perímetro da mesma. Para profundidades de lâmina maiores que 42 cm, a vazão é calculada pela Equação 10 (PORTO et al., 2007):

$$Q = 2,91 \times A \times y^{1/2} \quad (10)$$

onde:

A: área da grade, excluídas as áreas ocupadas pelas barras (m<sup>2</sup>);

y: altura de água na sarjeta sobre a grelha (m) (Equação 8). Na faixa de transição entre 12 e 42 cm, a carga a ser adotada é definida segundo julgamento do projetista.

Boca de lobo combinada:

“A capacidade teórica de esgotamento das bocas de lobo combinadas é, aproximadamente, igual à somatória das vazões pela grelha e pela abertura na guia, consideradas isoladamente (PORTO et al., 2007, p. 831).”

Assim como para as sarjetas, existem fatores de redução para a capacidade de esgotamento das bocas de lobo (Tabela 7). Essa redução é devida a vários fatores, entre os quais: obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e alinhamento real (PORTO ALEGRE, 2005).

**Tabela 7 - Fatores de redução de escoamento das sarjetas.**

Localização na sarjeta	Tipo de Boca de Lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto Baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto Intermediário	Guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou longitudinal com barras	60
	transversais combinadas	110% dos valores indicados para a grelha correspondente

Fonte: adaptado de SÃO PAULO (1999, apud DAEE/CETESB,1980).

### 2.5.3 Dimensionamento da rede coletora (galerias)

“O dimensionamento das galerias é realizado com base nas equações hidráulicas de movimento uniforme, como a de Manning, Chezy e outras. O cálculo depende do coeficiente de rugosidade e do tipo de galeria adotado (PORTO et al., 2007, p. 836)”

De acordo com Silva (2014, apud Ganguillet e Kutter, 1969) para tubos de galerias fechadas construídas com paredes de concreto, o coeficiente de rugosidade mais adequado a se utilizar depende das condições em que se encontram os elementos: em caso de condição muito boa igual a 0,012; boa condição igual a 0,013; condição regular 0,012 e 0,016 para condição ruim.

Segundo o Manual de drenagem urbana da cidade de Porto Alegre (2005), a sequência de cálculo para dimensionamento é a seguinte:

1. Calcula-se a vazão de projeto através da Equação 3, atentando-se principalmente para as características da área de contribuição.

2. Determina-se a declividade  $S$  (dada em m/m) do trecho pela Equação 11:

$$S = \frac{\text{Cota à montante} - \text{Cota à jusante}}{\text{Distância (comp. do trecho)}} \quad (11)$$

3. Transformando a equação de Manning (Equação 4), isola-se o diâmetro ( $D$ ) para calculá-lo (Equação 12). Lembrando que o diâmetro mínimo utilizado em microdrenagem é de 30 cm.

$$D = 1,55 \cdot \left( \frac{Q \cdot n}{S^{1/2}} \right)^{3/8} \quad (12)$$

4. Após definido o diâmetro comercial (que geralmente difere do calculado na etapa anterior) deve-se determinar o fator hidráulico ( $F_h$ ) da seção circular adotada (Equação 13) que permitirá a determinação do raio hidráulico  $R_h$  real e a velocidade efetiva  $v$  de escoamento no conduto. Esse valor é adimensional.

$$F_h = \frac{Q \times n}{D^{8/3} \times S^{1/2}} \quad (13)$$

5. Calculado o  $F_h$ , pela Tabela 8 pode-se determinar  $R_h/D$  e, conseqüentemente, pode-se determinar o valor de  $R_h$  real para o  $D$  encontrado.

6. Com o valor de  $R_h$  real, recorre-se novamente à equação de Manning para determinar a velocidade  $v$  real pela Equação 14:

$$v = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (14)$$

7. Por fim verifica-se se a velocidade encontrada respeita o limite de 5 m/s. Caso o valor seja acima, deve-se alterar a cota a fim de diminuir a declividade e assim, diminuir a velocidade de escoamento.

**Tabela 8 - Relações para Fator Hidráulico de seções circulares.**

FH de 0.001 a 0.080			FH de 0.081 a 0.250			FH de 0.251 a 0.333		
FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D	FH	RH/D	h/D
0.0001	0.0066	0.01	0.0820	0.1935	0.35	0.2511	0.2933	0.68
0.0002	0.0132	0.02	0.0864	0.1978	0.36	0.2560	0.2948	0.69
0.0005	0.0197	0.03	0.0910	0.2020	0.37	0.2610	0.2962	0.70
0.0009	0.0262	0.04	0.0956	0.2062	0.38	0.2658	0.2975	0.71
0.0015	0.0326	0.05	0.1003	0.2102	0.39	0.2705	0.2988	0.72
0.0022	0.0389	0.06	0.1050	0.2142	0.40	0.2752	0.2998	0.73
0.0031	0.0451	0.07	0.1099	0.2182	0.41	0.2798	0.3008	0.74
0.0041	0.0513	0.08	0.1148	0.2220	0.42	0.2842	0.3017	0.75
0.0052	0.0575	0.09	0.1197	0.2258	0.43	0.2886	0.3024	0.76
0.0065	0.0635	0.10	0.1248	0.2295	0.44	0.2928	0.3031	0.77
0.0080	0.0695	0.11	0.1298	0.2331	0.45	0.2969	0.3036	0.78
0.0095	0.0755	0.12	0.1350	0.2366	0.46	0.3009	0.3040	0.79
0.0113	0.0813	0.13	0.1401	0.2401	0.47	0.3047	0.3042	0.80
0.0131	0.0871	0.14	0.1453	0.2435	0.48	0.3083	0.3043	0.81
0.0152	0.0929	0.15	0.1506	0.2468	0.49	0.3118	0.3043	0.82
0.0173	0.0986	0.16	0.1558	0.2500	0.50	0.3151	0.3041	0.83
0.0196	0.1042	0.17	0.1612	0.2531	0.51	0.3183	0.3038	0.84
0.0220	0.1097	0.18	0.1665	0.2562	0.52	0.3212	0.3033	0.85
0.0246	0.1152	0.19	0.1718	0.2592	0.53	0.3239	0.3026	0.86
0.0273	0.1206	0.20	0.1772	0.2621	0.54	0.3264	0.3018	0.87
0.0301	0.1259	0.21	0.1826	0.2649	0.55	0.3286	0.3007	0.88
0.0331	0.1312	0.22	0.1879	0.2676	0.56	0.3305	0.2995	0.89
0.0362	0.1364	0.23	0.1933	0.2703	0.57	0.3322	0.2980	0.90
0.0394	0.1416	0.24	0.1987	0.2728	0.58	0.3335	0.2963	0.91
0.0427	0.1466	0.25	0.2041	0.2753	0.59	0.3345	0.2944	0.92
0.0461	0.1516	0.26	0.2094	0.2776	0.60	0.3351	0.2921	0.93
0.0497	0.1566	0.27	0.2147	0.2799	0.61	0.3353	0.2895	0.94
0.0534	0.1614	0.28	0.2200	0.2821	0.62	0.3349	0.2865	0.95
0.0572	0.1662	0.29	0.2253	0.2842	0.63	0.3339	0.2829	0.96
0.0610	0.1709	0.30	0.2306	0.2862	0.64	0.3222	0.2787	0.97
0.0650	0.1756	0.31	0.2388	0.2882	0.65	0.3294	0.2735	0.98
0.0691	0.1802	0.32	0.2409	0.2899	0.66	0.3248	0.2666	0.99
0.0733	0.1847	0.33	0.2460	0.2917	0.67	0.3117	0.2500	1.00
0.0776	0.1891	0.34						

Fonte: adaptado de Porto Alegre (2005).

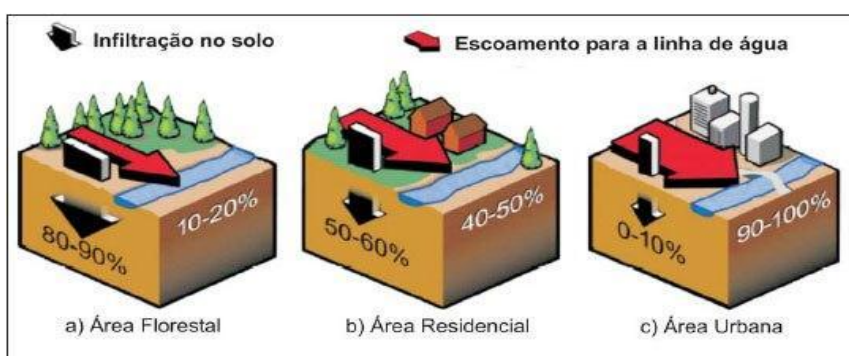
## 2.6 IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS POR PROBLEMAS DE SISTEMA DE DRENAGEM

Desde o início do processo de ocupação dos espaços geográficos, o homem costuma fixar-se próximo às fontes de água. De maneira geral, tais espaços foram ocupados sem a intenção de degradar, mas de melhorar a qualidade de vida das pessoas que se preocupavam em garantir, principalmente, alimento, água e energia (HAMMES, 2012).

Atualmente, os objetivos de ocupação variaram conforme outras necessidades do homem surgiram. O cenário de ocupação do solo foi modificado e nas últimas décadas tem se destacado o acelerado processo de urbanização e crescimento das cidades. Dentro desse contexto, a indústria da construção civil aparece como grande responsável pela modificação da paisagem natural e conseqüentemente como potencial geradora de impactos ambientais.

A Impermeabilização do solo de grandes áreas afeta diretamente a direção nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas. Reduz a interceptação, armazenamento superficial e infiltração, proporcionando o aumento dos volumes de escoamento superficial, como ilustrado na Figura 12 (SANTOS, 2007).

**Figura 12 - Impermeabilização do solo em diferentes áreas.**



Fonte: Opersan (2015)

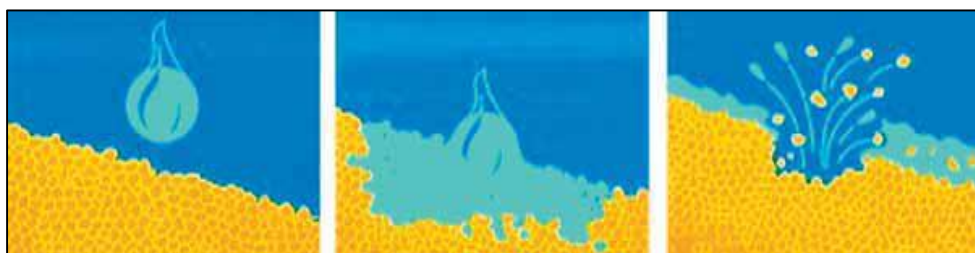
Sem o devido planejamento integrado das obras de infraestruturas, a ocupação territorial urbana pode provocar o surgimento de problemas de drenagem por ocasião dos eventos hidrológicos de alta intensidade. Tais problemas podem acarretar, por exemplo, em alagamentos, erosão e assoreamento. (RIGHETTO, 2009).

Em relação à degradação causada em fontes de água pela construção civil, a erosão e o assoreamento aparecem como impactos graves a serem considerados no planejamento de uma obra. Sendo assim, é necessário conhecer sobre tais impactos e suas maneiras de evita-los e/ou mitigá-los (SANTOS, 2007).

Santos (2007, p. 40) define erosão como: “Processo pelo qual há remoção de uma massa de solo de um local e sua deposição em outros locais, como resultado da ação de forças exógenas”. A erosão hídrica, que é causada pela água, divide-se em dois tipos denominados de erosão entressulcos e erosão em sulcos.

Segundo Curfs e Imeson (2006, p. 3), a erosão entressulcos (ou erosão de splash) é definida como: “o destacamento e movimento pelo ar de pequenas partículas de solo causado pelo impacto das gotas de chuva nos solos”. A Figura 13 ilustra este tipo de desagregação do solo por ação da água.

Figura 13 - Esquema da desagregação do solo pelo impacto da gota de chuva.



Fonte: Santos (2007).

A erosão em sulcos, também denominada de erosão linear, é causada pela enxurrada e aumenta com o volume da mesma. A intensidade de precipitação não é o único fator de aumento do volume da enxurrada, outros fatores como a cobertura vegetal, a inclinação e comprimento da encosta também influenciam para intensificar esse fenômeno. Este tipo de erosão é o mais perceptível no campo. A água possui fluxo linear que produz canais que crescem conforme aumenta o volume do fluxo que passa por eles, podendo caracterizar ravinas e, em casos extremos, voçorocas<sup>3</sup> (SANTOS, 2007).

Santos (2007, p. 179) define ravina como: “forma de canal resultante do aprofundamento de um sulco criado pela ação erosiva do escoamento superficial da água.” O autor destaca ainda que seu surgimento é mais comum em áreas agrícolas, mas também é encontrado em áreas urbanas com obras de drenagem mal elaboradas e dimensionadas, propiciando muitas vezes a deterioração da obra e assoreamentos intensos em corpos hídricos. Quando o processo erosivo é contínuo as ravinas podem vir a se tornar voçorocas. As Figura 14 e Figura 15 apresentam exemplos de ravina e voçoroca.

---

<sup>3</sup> Voçoroca: escavação ou rasgão do solo ou de rocha decomposta, geralmente profunda, proveniente de erosão superficial e subterrânea; uma ravina pode aprofundar e atingir o lençol de água subterrânea transformando-se numa voçoroca (SANTOS, 2007, p. 179).

**Figura 14 - Ravinas**

Fonte: Brasil Escola (2015)

**Figura 15 - Voçoroca.**

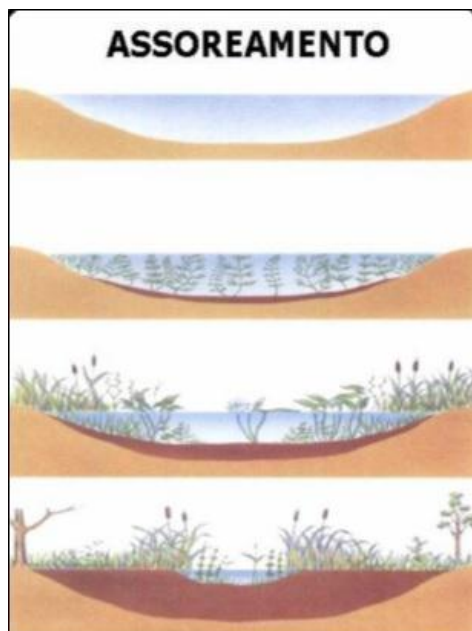
Fonte: Brasil Escola (2015)

Dependendo das características do terreno e das condições de infraestrutura local, o escoamento superficial pode provocar o desenvolvimento de processos erosivos acentuados gerando graves prejuízos ao ambiente urbano, (COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS (CPTI), 2008).

Se as águas são conduzidas por sistemas de captação apropriados, o problema normalmente tem origem no ponto de lançamento das águas, sendo comum o mau dimensionamento e falta de conservação das obras terminais de dissipação (CPTI, 2009, p. 22).

Para Capoane (2014, p. 47), assoreamento é definido como: “processo em que corpos hídricos vão sendo aterrados pelos solos e outros sedimentos neles depositados pelas águas das enxurradas, ou por outros processos.” A Figura 16 ilustra o processo de assoreamento que provoca o soterramento de corpos hídricos.

**Figura 16 - Processo de assoreamento.**



**Fonte: Capoane (2014).**

Nota-se na Figura 16 que, devido ao processo de assoreamento, ocorre o crescimento da vegetação na área que anteriormente era seção do corpo hídrico.

Segundo Pigosso et al. (2009), quando aumenta a erosão, haverá, conseqüentemente, o aumento do assoreamento à jusante na bacia hidrográfica.

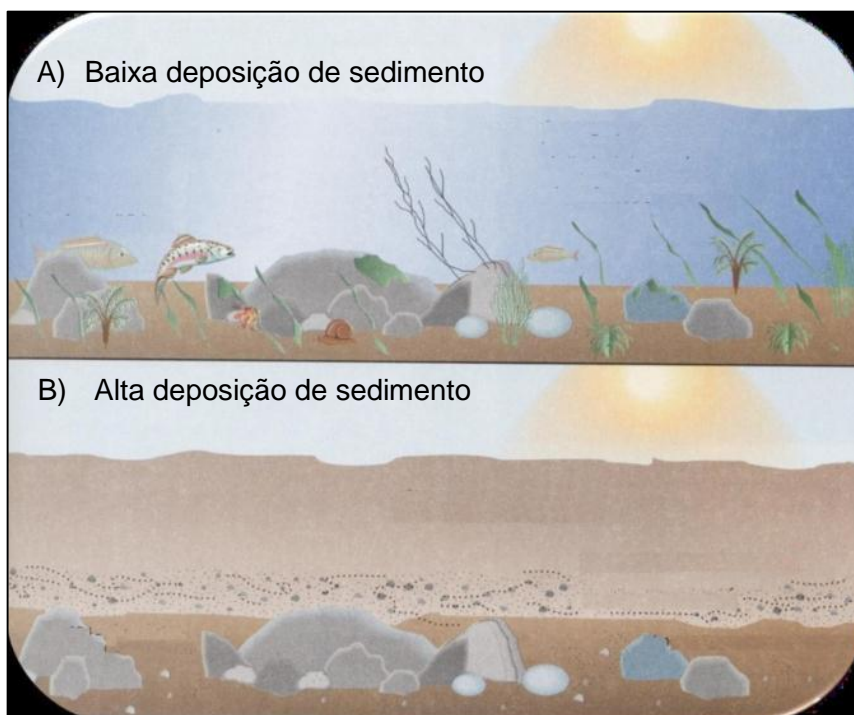
O processo de assoreamento numa bacia hidrográfica encontra-se intimamente relacionado aos processos erosivos, uma vez que são estes que fornecem os materiais que, ao serem transportados e depositados, darão origem ao assoreamento (PIGOSSO et al., 2009, p. 17).

Os processos de assoreamento causados por atividades antrópicas que ocorrem em áreas urbanas e rurais são geralmente ligados a atividades ou obras de infraestrutura que provocam processos erosivos ou alteram o sistema de escoamento e transporte fluvial (SANTOS, 2007).

O assoreamento de corpos hídricos acarreta conseqüências como: alterações dos ecossistemas, pelas mudanças das características químicas e físicas do canal, soterramento da vegetação existente nos fundos dos cursos d'água, diminuindo a proteção dos recursos hídricos, além do risco de alagamento na área em períodos mais chuvosos

(SANTOS, 2007). A Figura 17 exemplifica alterações ocasionadas por assoreamento em corpos hídricos.

**Figura 17 - Consequências do assoreamento.**



**Fonte: Capoane (2014).**

Observa-se que na situação A, com baixa deposição de sedimento, há: muitos locais para pequenos peixes; bactérias, protozoários e larvas de insetos ligados às rochas; penetração de luz para fotossíntese de algas perifíticas. Já na situação B, com alta deposição de sedimento, a argila em suspensão impede penetração da luz; os organismos ligados às rochas são arrastados pela areia e espalhados ao longo do fundo; quase todos os organismos são eliminados (CAPOANE, 2014).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O município de Tucuruí é localizado no sudeste do Pará às margens da BR 422, distante 480 km de Belém (GOOGLE MAPS, 2015). Segundo o Censo de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), possui uma população de 97128 habitantes.

No ano de 2012, tiveram início as obras do residencial Cristo Vive no município de Tucuruí – PA, pelo programa do governo federal, Minha Casa Minha Vida. A construtora Efece LTDA foi a vencedora do certame licitatório para a construção do empreendimento que beneficiaria 1000 famílias. De acordo com a planta do projeto de drenagem original o terreno onde está localizado o residencial (Figura 18) tem grande declividade, com média de aproximadamente 10% de inclinação e está localizado no km 1 da Estrada do Aeroporto.

**Figura 18 - Localização do Residencial Cristo Vive.**



**Fonte: (GOOGLE MAPS, 2015).**

Segundo informações da atual empresa responsável pela obra, Techcasa Construção e Incorporação LTDA, alguns meses após o início das obras, uma vistoria técnica da equipe de engenharia da Caixa Econômica Federal constatou diversas irregularidades na construção do residencial, ocasionando sua paralisação e afastamento da antiga empresa responsável. Dentre os principais problemas encontrados estava a drenagem de águas pluviais do residencial.

## 3.2 MÉTODOS

Para a elaboração desse trabalho – no intuito de caracterizar os problemas da obra – foram feitas visitas ao residencial, onde foi constatada a ineficiência do sistema de drenagem de águas pluviais. Assim, foi realizado um levantamento fotográfico do local no período de fevereiro a março de 2015, inclusive durante uma precipitação intensa ocorrida no dia 17 de fevereiro deste ano, a fim de apontar quais erros foram cometidos e quais as suas possíveis soluções.

A planta do projeto de drenagem de águas pluviais do residencial (Anexo A) foi obtida junto a empresa Techcasa Construção e Incorporação LTDA, que atualmente é a responsável pela obra, sendo utilizada para a verificação do dimensionamento e posicionamento dos elementos de drenagem, bem como comparar a conformidade com os serviços executados no local.

Como não existem normas brasileiras específicas para projetos de drenagem de águas pluviais, tanto a análise como o redimensionamento do projeto foi baseada em referenciais teóricos e instrumentos normativos mais utilizados e aceitos no meio científico.

A readequação do projeto consistiu em redimensionar todo o sistema de drenagem de águas pluviais do residencial. Assim, todos os seus elementos foram redefinidos – sarjetas, bocas de lobo, caixas de ligação e poços de visita. Esse processo foi possível a partir da planta do projeto de drenagem original e o levantamento da topografia das ruas, realizado e cedido pela empresa Techcasa.

### 3.2.1 Dimensionamento Hidráulico

Para facilitar o dimensionamento, as ruas do residencial foram divididas em dois grupos: Ruas Transversais e Ruas Paralelas.

Todo o dimensionamento foi baseado nas metodologias indicadas no referencial teórico e elaborado em planilhas que seguem como Apêndices A a J:

- ✓ VERIFICAÇÃO DA TOPOGRAFIA (RUAS TRANSVERSAIS) - (APÊNDICE A);
- ✓ VERIFICAÇÃO DA TOPOGRAFIA (RUAS PARALELAS) - (APÊNDICE B);
- ✓ VAZÃO DE PROJETO (RUAS TRANSVERSAIS) - (APÊNDICE C);
- ✓ VAZÃO DE PROJETO (RUAS PARALELAS) - (APÊNDICE D);
- ✓ DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS (RUAS TRANSVERSAIS) - (APÊNDICE E);
- ✓ DIMENSIONAMENTO DAS SARJETAS (RUAS PARALELAS) - (APÊNDICE F);

- ✓ DIMENSIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO (RUAS TRANSVERSAIS) - (APÊNDICE G);
- ✓ DIMENSIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO (RUAS PARALELAS) - (APÊNDICE H);
- ✓ COTAS DAS CAIXAS DE LIGAÇÃO - (APÊNDICE I);
- ✓ DIMENSIONAMENTO DA REDE COLETORA - (APÊNDICE J);

#### 3.2.1.1 *Verificação da topografia das ruas*

O levantamento topográfico, fornecido pela empresa Techcasa, permitiu a caracterização das ruas com a definição de cotas, extensão e declividade longitudinal – dados necessários para o dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais.

Foram criadas duas planilhas com o levantamento topográfico das ruas transversais e paralelas (Apêndice A e B, respectivamente). Os dados inseridos nas planilhas foram:

a) Ruas e trechos: para facilitar os cálculos, as ruas do residencial foram divididas em paralelas e transversais; a identificação dos trechos se encontram ao longo das ruas, conforme caracterizadas.

b) Extensão: a extensão de cada trecho foi medida em planta com os dados da planta de drenagem fornecida. Esta extensão é dada em metros.

c) Cotas do terreno: são inseridas para os cálculos de escoamento superficial. Para isso, são obtidas as cotas a montante e cotas a jusante do trecho, obtendo-se o sentido do escoamento que se dirige de uma cota mais alta (montante) para uma mais baixa (jusante). Estas cotas são dadas em metros.

d) Desnível: consiste na diferença entre as cotas de montante e jusante do respectivo trecho. Esse valor é dado em metros.

e) Declividade: dada em metros por metros, foi calculada dividindo-se o desnível pela extensão do trecho.

#### 3.2.1.2 *Vazão de projeto das sarjetas*

Os Apêndices C e D contém as planilhas de dimensionamento das vazões de projeto das sarjetas das ruas transversais e paralelas, respectivamente.

A vazão de projeto utilizada no dimensionamento foi obtida através do método racional (Equação 3). Foram necessários os seguintes dados: tempo de concentração, tempo (período) de retorno, precipitação de projeto (intensidade da chuva), coeficiente de

escoamento superficial e área de contribuição. Segue a descrição dos dados que foram necessários para elaboração das planilhas.

a) Sarjeta: na terceira coluna, foram lançados os caracteres referentes a identificação das sarjetas, que se encontram as margens das vias. Sendo que, ao longo das ruas, encontram-se sarjetas tanto do seu lado direito quanto no esquerdo, segundo o sentido do escoamento, sendo descritos ambos os lados na planilha.

b) Extensão: esta extensão corresponde à distância entre a cota de montante da sarjeta até a sua cota de jusante, ou seja, a extensão da sarjeta do lado direito e esquerdo da rua. Estes dados são lançados na quarta coluna e são dados em metros.

c) Tempo de Concentração: foi adotado o tempo de concentração de 10 minutos para a equação, valor referente à obras em áreas residenciais, definido por Tomaz (2013, apud MOTH, 1998).

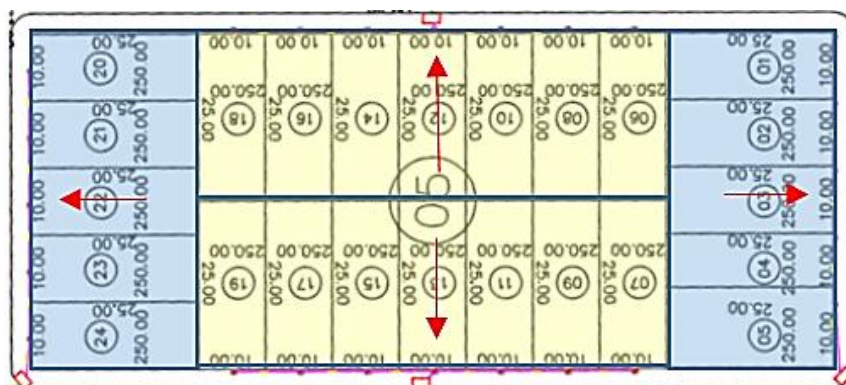
d) Tempo (período) de retorno: utilizado o período de 2 anos, de acordo com a Tabela 2 - tempo de retorno para projetos de drenagem urbana, retirada do Manual de Drenagem da cidade de Porto Alegre (2005).

e) Precipitação de projeto: calculada pela equação IDF (Equação 2) da cidade de Tucuuruí, cujo os parâmetros constantes foram definidos no trabalho de Amaral et al. (2012) (Tabela 4). Valor em mm/h.

f) Coeficiente de escoamento (C): é a razão entre o volume de água escoado superficialmente e o volume de água precipitado (adimensional), ou seja, representa a porcentagem de água precipitada que irá contribuir no escoamento superficial. Neste projeto foi utilizado o Coeficiente igual a  $C=0,9$ , retirado da Tabela 5, que indica os valores de C de acordo com as superfícies de revestimento da área.

g) Áreas de contribuição: foram definidas de acordo com a planta do projeto de drenagem do residencial, onde foi observado que todas as quadras possuem a mesma dimensão, possibilitando, assim, adotar uma divisão de áreas padrão para toda a obra, conforme a Figura 19. As setas indicam a direção de escoamento adotada para cada área.

**Figura 19 - Áreas de contribuição das quadras.**



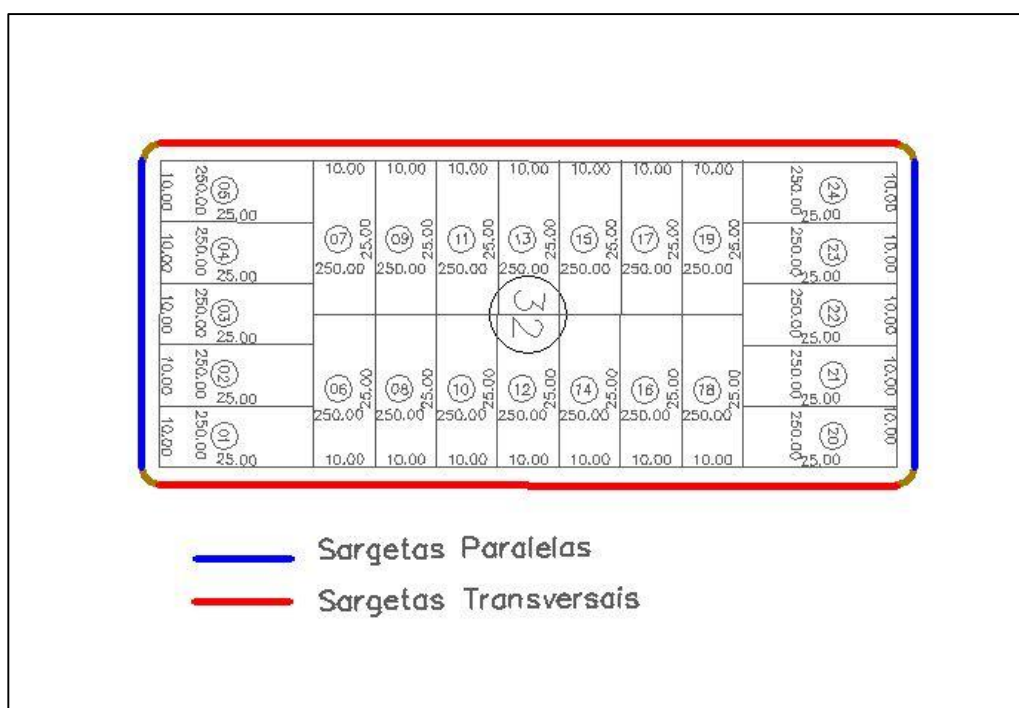
Fonte: Autores (2015).

h) Vazão de projeto do trecho de sarjeta: valor calculado pela Equação de Manning, Equação 3, expresso em litros por segundo. Esta foi a vazão calculada para a qual foram dimensionadas as sarjetas e demais componentes do sistema de drenagem.

### 3.2.1.3 Dimensionamento das sarjetas

Assim como a divisão das ruas (em transversais e paralelas), conforme sua extensão e área de contribuição (Figura 19), as sarjetas também foram divididas em dois tipos: sarjetas de ruas paralelas e sarjetas de ruas transversais (Figura 20) e para cada tipo foi calculada sua vazão de projeto ( $Q_p$ ).

Figura 20 - Tipos de sarjetas.



Fonte: Autores (2015).

Após o levantamento dos dados das ruas e trechos como cotas, extensão longitudinal e transversal e desnível, foram definidas as características das sarjetas, conforme expressas nas planilhas contidas nos Apêndices E e F.

a) Trecho da sarjeta: localizadas às margens das vias, sendo que, ao longo das ruas, encontram-se sarjetas tanto do seu lado direito quanto no esquerdo, segundo o sentido do escoamento, sendo identificados e descritos ambos os lados na planilha.

b) Declividade transversal da rua: declividade que permita que o desnível entre o meio da rua e o nível inferior da sarjeta seja de 15 cm, ou seja, calculada dividindo esse

valor pela extensão corresponde da guia até o meio da rua (4 metros). Dada em metros por metros, aproximadamente igual a 0,04 m/m.

c) z: inverso da declividade transversal; respectivo ao valor atribuído para distância da guia até a parte da pista que pode ser inundada. Igual para todos os trechos, foi calculada com o valor de 26,67, adimensional.

d) n: coeficiente de rugosidade de Manning da sarjeta; representa a textura do material utilizado na sarjeta. Como o projeto considera que o material do conduto é de concreto rugoso, adotou-se o valor de 0,015, de acordo com a Tabela 6.

e)  $Y_0$ : altura da sarjeta, ou altura máxima na guia, foi atribuída neste projeto em função da largura máxima do espelho d'água, sugere-se que esta altura não ultrapasse 13 cm para todas as sarjetas dos trechos do projeto.

f) Vazão real de contribuição na sarjeta: esta vazão corresponde à contribuição feita pela área correspondente ao trecho da sarjeta, ou seja, a vazão proveniente da área real que contribui para a seção da sarjeta. Esta vazão foi calculada anteriormente na planilha da vazão de projeto (Q), na última coluna da mesma, em litros por segundo.

g) Vazão admissível no trecho da sarjeta: esta vazão é também a máxima que a sarjeta poderá suportar, porém neste caso, como as sarjetas adotadas possuem seção triangular, o cálculo foi feito segundo as características estabelecidas para a mesma, de acordo com a Equação 5. Esta vazão serviu como parâmetro para assinalar a necessidade ou não de boca de lobo para o trecho em estudo. É expressa em litros por segundo.

h) Fator de redução para a sarjeta: foi utilizado para precaver situações desfavoráveis que poderão acontecer nas seções de escoamento, por exemplo: os lixos jogados nas seções das sarjetas. O fator que foi utilizado para este projeto, atentando para as características da área e para as peculiaridades das pessoas que irão habitar neste local, estimou-se o valor de 20% de redução da vazão máxima admissível ou 0,8.

i) Vazão reduzida da sarjeta: foi utilizada para comparação com a vazão de contribuição para a sarjeta, caso a vazão reduzida fosse maior que a vazão de contribuição para esta sarjeta, não haveria necessidade de se colocar boca de lobo intermediária, caso contrário, se a vazão reduzida fosse menor que a vazão de contribuição, haveria a necessidade de se implantar o sistema de boca de lobo, para coletar o excesso do escoamento. É expressa em litros por segundo.

j) Teste da vazão na sarjeta: este teste foi utilizado para averiguar se há ou não a necessidade de se implantar um sistema de boca de lobo no trecho. Se a vazão que a sarjeta suporta for menor que a de contribuição, o teste iria indicar "b. lobo", caso contrário "Prossegue".

k) Velocidade máxima de escoamento: calculada pela Equação 6 que utiliza as características de rugosidade do material e a declividade do trecho respectivo. Esta

velocidade não poderá exceder 6,0 metros por segundo, já que esta é a velocidade máxima determinada para que não haja posteriores riscos de degradação do material de revestimento da sarjeta, e nem ser inferior a 0,5 metros por segundo para que não ocorra a sedimentação de material de pequena granulometria.

l) Teste de verificação de velocidade de escoamento na sarjeta: na última coluna estabeleceu-se um teste de condicionamento, onde foi verificado se a velocidade de escoamento da sarjeta excedia a máxima velocidade permitida que é de 6,0 m/s ou se é inferior a mínima que é 0,5 m/s. Nos caso onde a velocidade do trecho não excedeu 6,0 m/s e nem foi inferior a 0,5 m/s, o teste indicou “Ok”, caso contrário “Mudar Cota”.

#### 3.2.1.4 Dimensionamento das bocas de lobo

O dimensionamento das bocas de lobo foi condicionado às vazões de cada trecho de sarjeta, definidas anteriormente. As planilhas de dimensionamento das bocas de lobo de ruas transversais e paralelas (Apêndices G e H) foram elaboradas para definir o melhor tipo, quantidade (simples ou dupla) e a dimensão da abertura desses elementos de modo a conseguir o total “engolimento” da vazão das sarjetas correspondentes. Vale ressaltar que para o presente projeto não foi previsto a utilização de sarjetões, logo, o conjunto de bocas de lobo teve que engolir toda vazão transportada pelas sarjetas.

Devido à grande declividade dos trechos de sarjetas, foram adotadas bocas de lobo combinadas em simples e com grelha, a favor da garantia de maior captação das águas escoadas. Também foram adotados sistemas com bocas de lobo em todas as esquinas à jusante, garantindo a captação próxima aos cruzamentos de ruas. Os dados utilizados nas planilhas de dimensionamento foram:

- a) Trecho de sarjeta: indicação do trecho com a Boca de Lobo.
- b) Boca de lobo: esta denominação seguiu as características da denominação das Sarjetas que a corresponde.
- c) Vazão total que passa na sarjeta: vazão total que está passando pela sarjeta, vazão esta que foi integralmente engolida pela boca de lobo para evitar a saturação das Sarjetas. Esta vazão foi estabelecida a partir da planilha “sarjeta”. Valor expresso em litros por segundo.
- d) Vazão de montante da sarjeta: diferença entre a vazão total e a vazão do trecho, denominada de vazão de montante da sarjeta. Como foi adotado bocas de lobo no final de cada trecho, não houve contribuição de escoamento de um trecho de sarjeta para outro e, portanto, esse valor foi igual a 0 em todos os casos.

e) Vazão do trecho de sarjeta: vazão já calculada na planilha de verificação da sarjeta. Valor expresso em litros por segundo.

f) Vazão de jusante da sarjeta: vazão que chega a extremidade da sarjeta. Esta vazão foi encontrada dependendo da situação em que o trecho estava submetido, como todos os trechos não estavam submetidos à bocas de lobo ou intermediárias ou na cabeceira, esta vazão foi calculada pela soma da vazão de montante com a vazão do trecho da sarjeta. Valor expresso em litros por segundo.

g) Largura da boca de lobo: nessa coluna foi atribuída a largura da boca de lobo que foi utilizada no trecho, em metros. As larguras de bocas de lobo utilizadas nesse projeto foram: 1,0 metros, 1,2 metros, 1,4 metros e 1,6 metros de comprimento. Foram utilizadas larguras maiores em alguns trechos em favor da segurança.

h) Declividade longitudinal da sarjeta: esta declividade em metros por metros já foi calculada na planilha de Verificação da Sarjeta, com isso, apenas copiou-se da respectiva planilha.

i)  $z$  ou  $\text{tg } \theta$ : este valor (adimensional) também já foi atribuído na planilha de Verificação da Sarjeta, com isso, apenas foi copiado para esta planilha.

j) Coeficiente de rugosidade de Manning da sarjeta: este coeficiente adimensional também já foi estabelecido na planilha de Verificação da Sarjeta, com isso, também foi copiado.

k) Altura de lâmina d'água à montante do trecho da sarjeta: valor que possibilita o cálculo da vazão de "engolimento" que a boca de lobo irá exercer. Como esta altura situa-se à montante do trecho, seria utilizada nas bocas de lobo que se situassem no início do trecho ou intermediário pela Equação 7. Expresso em metros.

l) Altura da lâmina d'água à jusante do trecho da sarjeta: calculou-se a altura da lâmina d'água à jusante do trecho da Sarjeta, esse valor possibilitou o cálculo da vazão de "engolimento" que a boca de lobo irá exercer. Como esta altura situa-se à jusante do trecho, foi utilizada nas bocas de lobo que se situaram no final do trecho correspondente. A fórmula utilizada foi a mesma do item anterior (Equação 7), o valor foi dado em metros.

m) Capacidade da boca de lobo combinada: calculou-se a capacidade de "engolimento" que terá a boca de lobo em cada trecho, segundo as suas peculiaridades. Esta capacidade dependeu da largura da boca de lobo que será utilizada e da altura da lâmina d'água que chega a este dispositivo. Vale ressaltar que foi utilizado o sistema com bocas de lobo combinada e, portanto, o cálculo da vazão consistiu na somatória das capacidades de vazão de ambos os tipos – simples e com grelha. Como em todos os casos a altura de lâmina d'água não ultrapassou 12 cm, a Equação 6 foi utilizada para o cálculo dos dois tipos. Esta vazão de "engolimento" é dada em litros por segundo.

n) Coeficiente de segurança para boca de lobo: corresponde ao fator de redução de capacidade de esgotamento devida a vários fatores, entre os quais: obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e alinhamento real. Conforme a Tabela 8, a porcentagem permitida sobre o valor teórico para bocas de lobo combinadas equivale a 65%, ou seja, atribuiu-se o fator de 0,65 na planilha.

o) Capacidade da boca de lobo corrigida: resultado da multiplicação da capacidade de vazão da boca de lobo pelo coeficiente de segurança, em litros por segundo.

p) Capacidade da boca de lobo dupla: calculou-se a capacidade das bocas de lobo duplas, esta medida foi tomada quando os dispositivos simples submetidos não foram suficientes para captar a vazão requerida, em litros por segundo.

q) Vazão que passa após a boca de lobo: vazão excedente após a captação da boca de lobo no trecho correspondente, ou seja, a vazão que chega (montante ou jusante, dependendo de onde se situa a boca de lobo) menos a vazão captada pelo dispositivo de “engolimento” da vazão que passa pela Sarjeta. Expressa em litros por segundo.

r) Vazão de projeto que passa: ajuste dos valores das vazões que passam pela boca de lobo, pois em todos os casos a capacidade de “engolimento” da boca de lobo é maior que a vazão que chega, portanto as vazões aparecem negativas. Por motivo de estética e melhor visualização dos dados, se ajustaram os valores.

s) Vazão real engolida pela boca de lobo: vazão que a boca de lobo está “engolindo” de acordo com as condições que estabelecemos, se a vazão que chega na boca de lobo fosse maior que a capacidade da boca de lobo corrigida a vazão real seria a vazão da capacidade da boca de lobo, se a vazão que chega na boca de lobo fosse menor que a capacidade da boca de lobo corrigida a vazão real seria a vazão da capacidade da boca de lobo corrigida mais a vazão que passa.

t) Tipo de boca de lobo: ao todo, no projeto foram adotadas quatro tipos de bocas de lobo, denominadas de BL1, BL2, BL3 e BL4. As BL1 correspondem a elementos com abertura na guia de 1 metro, as BL2 com 1,2 metros, BL3 com 1,4 metros e BL4 com 1,6 metros de abertura. Nessa etapa da planilha está descrita qual o tipo foi utilizado no trecho.

u) Boca de lobo dupla ou simples: indicações se foram utilizadas bocas de lobo simples ou duplas no trecho.

### *3.2.1.5 Definição das cotas das caixas de ligação*

Na planilha contida no Apêndice I é apresentado o cálculo utilizado para definição das cotas das caixas de ligação. Os dados do procedimento adotado está expresso a seguir:

- a) Rua e Trecho: definição da rua onde foi projetada a caixa de ligação e o trecho de galeria ao qual ela irá atender;
- b) Caixa de ligação: identificação da caixa de ligação;
- c) Cotas à montante e à jusante: essas cotas, expressas em metros, correspondem aos pontos de início e fim do trecho no qual foi projetada a caixa de ligação;
- d) Desnível: diferença em metros entre as cotas de montante e jusante do trecho;
- e) Declividade: resultado da divisão do desnível pela extensão do trecho. Expressa em metros por metros;
- f) Extensão até a caixa de ligação: nessa etapa foi definido o ponto no trecho onde seriam instaladas as caixas de ligação e anotado o valor correspondente, em metros, na extensão do trecho;
- g) Desnível até a caixa de ligação: valor encontrado após a multiplicação entre a extensão até a caixa de ligação e a declividade do trecho. Expresso em metros;
- h) Distância entre caixa de ligação e poço de visita: distância em metros da extensão de galeria entre a caixa de ligação e o poço de visita, resultado da subtração entre a extensão do trecho e a extensão até a caixa de ligação.

#### 3.2.1.6 Dimensionamento da rede coletora

O dimensionamento das galerias foi realizado com base nas equações hidráulicas de movimento uniforme, como a de Manning (Equação 4). O cálculo dependeu do coeficiente de rugosidade e do tipo de galeria adotado que, para o projeto adotou-se seção circular de concreto.

De acordo com Silva (2014, apud Ganguillet e Kutter, 1969) para tubos de galerias fechadas construídas com paredes de concreto, o coeficiente de rugosidade mais adequado a se utilizar depende das condições em que se encontram os elementos: em caso de condição muito boa igual a 0,012; boa condição igual a 0,013; condição regular 0,012 e 0,016 para condição ruim.

Sendo assim, levando em consideração as condições ruins em que se encontravam as galerias e admitindo a possibilidade de reutilização de tais elementos, para o dimensionamento se considerou o coeficiente de escoamento igual a 0,016 para todos os trechos. Além disso, é recomendado que as galerias de concreto executadas na rede tenham acabamento áspero, a fim de aumentar o atrito do escoamento, diminuindo sua velocidade que, devido as grandes declividades dos trechos do residencial, são elevadas.

Os dados utilizados para o dimensionamento da rede coletora de águas pluviais (Apêndice J) foram:

a) Trecho: definição do trecho de galeria com origem e fim que poderia ser de um poço de visita a outro ou entre uma caixa de ligação e um poço de visita, todos identificados com numeração.

b) Extensão do trecho: comprimento do trecho de galeria, dado em metros.

c) Vazão de contribuição: vazão  $Q$  de contribuição para o trecho de galeria, resultado da somatória das vazões que chegam ao trecho pelas bocas de lobo e/ou outros trechos de galerias. Esse cálculo foi executado de acordo com a análise do traçado de escoamento da rede de microdrenagem em planta e o valor expresso em litros por segundo.

d) Cotas do terreno: valores utilizados de acordo com o levantamento topográfico do residencial. Referem-se às cotas, em metros, de montante e jusante das ruas nos pontos de origem e fim dos trechos, em metros.

e) Cotas de greide: nessa etapa foram definidas as cotas reais de origem e fim dos trechos de galeria respeitando o cobrimento mínimo de 1 metro para a tubulação. Expresso em metros.

f) Profundidade: Diferença entre a cota do terreno e cota de greide. Esse valor expressa a profundidade real em metros dos pontos de origem e fim do trecho de galeria, ou seja, à montante e jusante.

g) Declividade do trecho: foi calculada pela Equação 10, utilizando os valores de cotas de greide e o comprimento do trecho, obtendo-se o valor em metro por metro.

h) Diâmetro mínimo: foi calculado a partir da equação de Manning (Equação 4) onde isolou-se o diâmetro ( $D$ ). Como todos os trechos de galerias utilizados nesse projeto foram de concreto, o coeficiente de Manning adotado, segundo a Tabela 6, foi de 0,014. Valor expresso em milímetros.

i) Diâmetro adotado: valor expresso em milímetros. Corresponde ao diâmetro comercial adotado para o trecho, uma vez que o diâmetro mínimo calculado geralmente não é usual. Foi adotado o diâmetro comercial superior ao calculado, resultando em diâmetros de galeria com 400, 600, 800, 1000 e 1200 milímetros, sendo que, em alguns trechos, foram adotadas duas galerias com 1200 milímetros, totalizando 2400 milímetros.

j) Fator hidráulico: como o diâmetro adotado difere do diâmetro mínimo, foi necessário calcular o fator hidráulico real ( $F_h$ ) da seção pela Equação 12, que permitiu determinar a velocidade efetiva na seção. Esse valor é adimensional.

k)  $R_h/D$ : determinado o fator hidráulico real pôde-se obter, a partir da Tabela 9, o valor adimensional correspondente ao  $R_h/D$  – raio hidráulico sobre diâmetro.

l) Raio hidráulico: conhecendo o valor de  $R_h/D$  e o diâmetro, calculou-se o raio hidráulico ( $R_h$ ) correspondente à seção real, dado em metros.

m) Velocidade de escoamento: com o valor de Rh real, recorreu-se novamente à equação de Manning para determinar a velocidade v real em metros por segundo conforme Equação 12.

n) Teste: a velocidade, dada em metros por segundo, não poderia ultrapassar o valor de 5 metros por segundo, para evitar o desgaste excessivo dos condutos, ou ficar abaixo de 0,60 metros por segundo, para evitar escoamento muito lento e possível deposição de sedimentos. Portanto, foi feito um teste onde foi verificada essa condição, onde caso atendesse, resultaria em “Ok”, e no contrário, “Mudar declividade”.

### 3.2.1.7 *Planta do projeto de drenagem de águas pluviais*

A partir das planilhas executadas, foi possível elaborar a nova planta do projeto de drenagem de águas pluviais do residencial, contida no Apêndice K deste trabalho.

Foram indicadas todas as direções adotadas de escoamento das águas pluviais nas ruas e na rede coletora. Os tipos de bocas de lobo foram indicadas e inseridas na planta conforme especificação das planilhas e sua localização obedeceu às recomendações citadas no referencial teórico (Figura 6).

Nos poços de visita e caixas de ligação também foram indicadas as cotas da rua e as cotas de saída da rede a jusante, conforme as planilhas de dimensionamento. O diâmetro das galerias foi expresso em todos os trechos da rede, assim como a sua declividade e comprimento.

A inexistência de algumas ruas no residencial também foi indicada na planta, assim como as modificações ocorridas no posicionamento de algumas quadras e ruas em relação ao projeto original.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 ESCOAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS NO RESIDENCIAL

Foram realizadas visitas na obra durante precipitação (Figura 21) para analisar a eficiência do sistema de drenagem do residencial. Pôde-se notar que as águas pluviais escoam com grande velocidade devido ao elevado declive das ruas e que os elementos de drenagem não funcionam, fazendo com que um grande volume de água escoe por locais onde não deveria, como o meio de ruas e calçadas.

**Figura 21 - Vista geral do residencial durante uma precipitação.**



**Fonte: Autores (2015).**

Como observado, as ruas do residencial estão muito deterioradas, principalmente as que possuem maior declive, além de apresentar muitos resíduos que são arrastados pelas águas que, por sua vez, não são captadas como deveriam, chegando até os pontos mais baixos com grande vazão e danificando o leito das ruas, como visto nas Figura 22 e Figura 23.

**Figura 22 - Escoamento no final de rua.**



**Fonte: Autores (2015).**

**Figura 23 - Escoamento resultando em danos ao pavimento.**



**Fonte: Autores (2015).**

Pode se observar que a grande vazão excede a capacidade dos elementos de drenagem invadindo ruas e calçadas com força suficiente para causar a deterioração destes (Figura 23 e Figura 24).

**Figura 24 - Escoamento sobre calçada.**



**Fonte: Autores (2015).**

Na Figura 24 nota-se que o escoamento criou um tipo de canal após a calçada, por onde flui causando bastante erosão e danificando as vias e as áreas de passeio.

A erosão causada pela força da água também danifica as sarjetas. Como observado na Figura 25.

**Figura 25 - Sarjetas deterioradas.**



**Fonte: Autores (2015).**

Percebe-se que, devido ao processo avançado de erosão, as sarjetas estão comprometidas, sem o apoio necessário à sua fixação. Assim, estão sujeitas a serem

levadas pelo escoamento como aconteceu em outros trechos, como apresentado na Figura 26.

**Figura 26 - Sarjetas totalmente destruídas.**



**Fonte: Autores (2015).**

A Figura 26 apresenta um trecho onde a água escoava por um buraco onde existiam sarjetas. Nota-se ainda que a calçada também está comprometida pelo processo erosivo que destrói sua base, local por onde está havendo escoamento.

#### 4.2 LEVANTAMENTO DAS PATOLOGIAS ENCONTRADAS NA OBRA

A principal patologia observada na obra – consequência do sistema de drenagem ineficiente – é o grande processo erosivo ocasionado pelo escoamento desordenado e com grande vazão das águas pluviais, gerando crateras de grandes dimensões, afetando ruas, calçadas e os próprios elementos do sistema de drenagem. As Figuras 27 a 36 exemplificam a situação de patologias encontradas na obra.

**Figura 27 - Processo erosivo no leito das ruas.**



Fonte: Autores (2015).

**Figura 28 - Sarjetas destruídas.**



Fonte: Autores (2015).

Na Figura 28 observa-se que as sarjetas foram destruídas pelo processo erosivo. Os detritos dos elementos podem ser vistos no fundo da cratera.

Os cruzamentos das ruas apresentam buracos por onde escoam as águas da chuva (Figura 29), tornando alguns trechos impossibilitados de receber tráfego de veículos leves.

**Figura 29 - Aberturas no pavimento em cruzamentos de ruas.**



**Fonte: Autores (2015).**

Em outro ponto, a erosão acentuada gerou uma cratera de grandes dimensões (Figura 30).

**Figura 30 - Cratera localizada em cruzamento de ruas.**



**Fonte: Autores (2015).**

Os problemas ocasionados por essa construção não se limitaram apenas à área do residencial, pois como podemos observar nas Figuras 31 a 36 a área externa da obra também é afetada pelo processo erosivo.

**Figura 31 - Sedimentos carregados pelas águas pluviais.**



**Fonte: Autores (2015).**

Como pode se verificar, muito sedimento acaba sendo arrastado pela água e depositado nos pontos mais baixos, além dos limites do residencial.

Mais a jusante da obra podemos observar o aparecimento de ravinas devido ao grande processo erosivo (Figura 32).

**Figura 32 - Ravinas à jusante do residencial.**



**Fonte: Autores (2015).**

Um dos exutórios do sistema de drenagem encontra-se inoperante, como observado na Figura 33.

**Figura 33 - Exutório destruído.**



**Fonte: Autores (2015).**

Todo esse sedimento oriundo da obra – e das erosões ocasionadas por ela – chega à área próxima ao igarapé que corre à jusante da obra (Figura 34) ocasionando diversos impactos no local, que vão desde a mudança da paisagem natural até o assoreamento desse igarapé.

**Figura 34 - Ponto exutório do sistema de drenagem.**



**Fonte: Autores (2015).**

A Figura 34 registra um dos locais de despejo das águas pluviais vindas do residencial e o sedimento trazido com ela.

Na área do igarapé, o processo de assoreamento já é evidente (Figura 35).

**Figura 35 - Sedimento na área do igarapé.**



**Fonte: Autores (2015).**

A alta deposição de sedimentos causa sérios impactos ao ecossistema do igarapé. O assoreamento do igarapé pode acarretar consequências como: alterações dos ecossistemas, pelas mudanças das características químicas e físicas do canal, soterramento da vegetação existente nos fundos dos cursos d'água, diminuindo a proteção dos recursos hídricos, além de ser possível que aconteça a total extinção desse corpo hídrico.

Nota-se também, o crescimento de vegetação na área onde corriam as águas do igarapé (Figura 36).

**Figura 36 - Vegetação característica de áreas que sofrem assoreamento.**



**Fonte: Autores (2015).**

Como visto anteriormente, na Figura 16, o crescimento dessa vegetação é característica de cursos d'água que sofrem assoreamento.

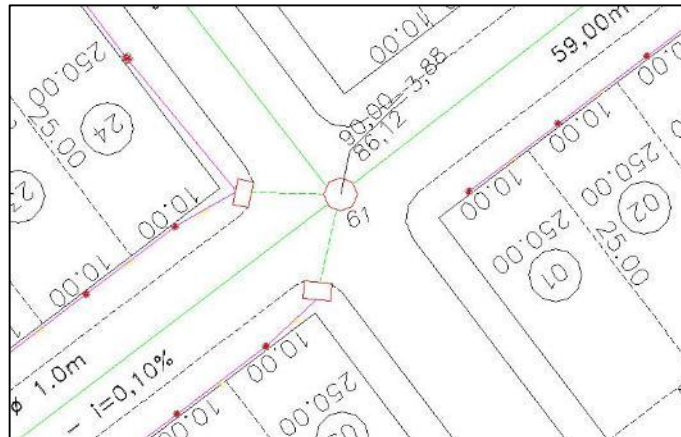
#### 4.3 LEVANTAMENTO DAS FALHAS ESTRUTURAIS DO SISTEMA DE DRENAGEM DA OBRA

##### 4.3.1 INADEQUADO POSICIONAMENTO DAS BOCAS DE LOBO

O posicionamento correto das bocas de lobo é de extrema importância para um projeto de drenagem, pois devem impedir alagamentos nos pontos mais baixos além de águas paradas nas zonas sem declive.

Na obra estudada, o posicionamento das bocas de lobo em todos os cruzamentos foram projetadas e executadas de forma errônea, como observado nas Figuras 37, 38 e 39. A planta do projeto de drenagem do residencial indica a instalação das bocas de lobo nas esquinas. Desta forma, as torrentes são escoadas com velocidade contrária à entrada da boca de lobo, detalhe observado na Figura 40.

**Figura 37 - Inadequado posicionamento das bocas de lobo.**



Fonte: Planta do projeto de drenagem original (2015).

**Figura 38 - Boca de lobo em esquina.**



Fonte: Autores (2015).

**Figura 39 - Boca de lobo com abertura acima do nível da sarjeta.**



Fonte: Autores (2015).

Na Figura 39, a abertura da boca de lobo está em nível mais alto que a sarjeta, impossibilitando completamente a captação de água da mesma, além disso, como visto nas Figuras 37 e 38, as bocas de lobo foram instaladas nas esquinas.

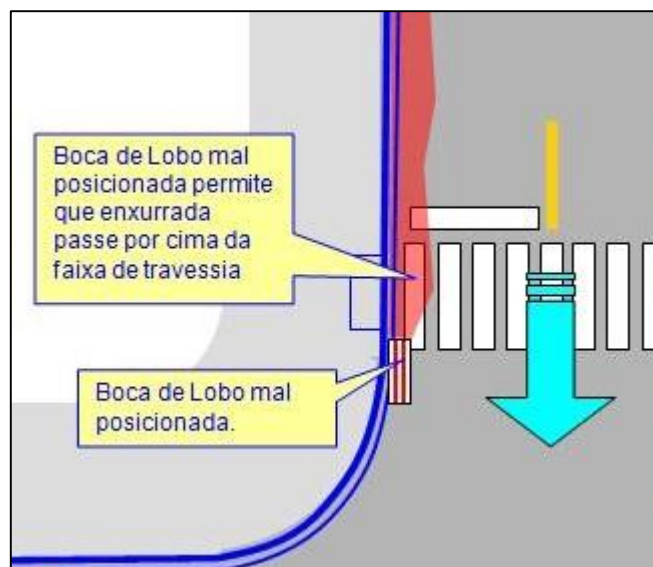
**Figura 40 - escoamento de águas pluviais em cruzamento.**



Fonte: Autores (2015).

As torrentes tendem a passar direto e atravessar as ruas, danificando intensamente a pavimentação. Além disso, esse posicionamento atrapalha a travessia de pedestres nos casos de faixa de travessia virem a ser utilizadas nesses cruzamentos, como ilustrado na Figura 41.

**Figura 41 - Consequência de mau posicionamento de boca de lobo.**

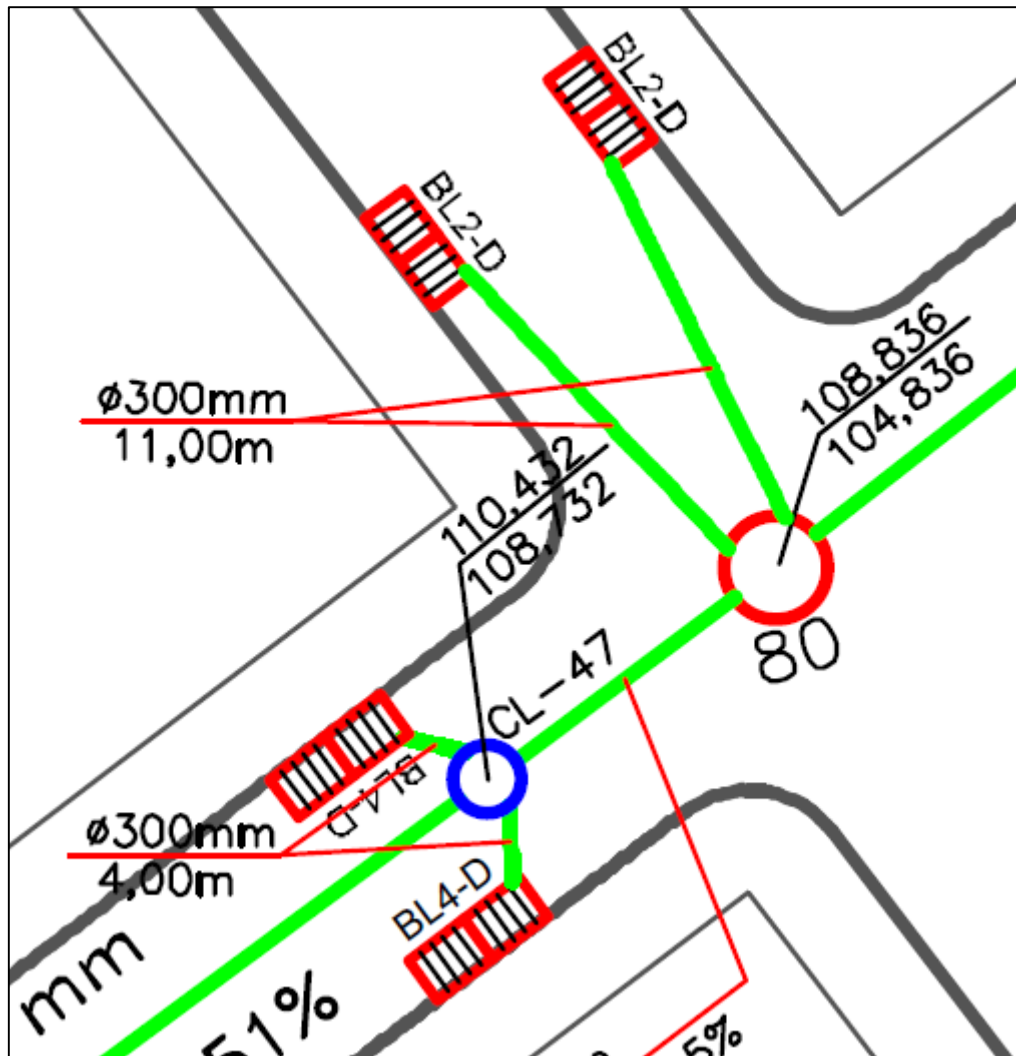


Fonte: EBANATAW, 2013

Observa-se que quando posicionadas abaixo da faixa, a boca de lobo permite que o escoamento das águas passe por cima da mesma, dificultando a passagem dos pedestres.

Como foi anteriormente mostrado, o posicionamento correto das bocas de lobo foi utilizado no projeto de correção elaborado nesse trabalho (Apêndice K), como observado na Figura 42.

Figura 42 - Posicionamento correto das bocas de lobo.



Fonte: Planta corrigida do projeto de drenagem (2015).

#### 4.3.2 INADEQUADA ESCOLHA DO TIPO DE BOCAS DE LOBO

No residencial foi executado somente um tipo de boca coletora, a simples ou lateral, como visto na Figura 43, sendo utilizada tanto nas esquinas quanto nos pontos intermediários das ruas.

Figura 43 - Boca de lobo tipo simples no residencial.

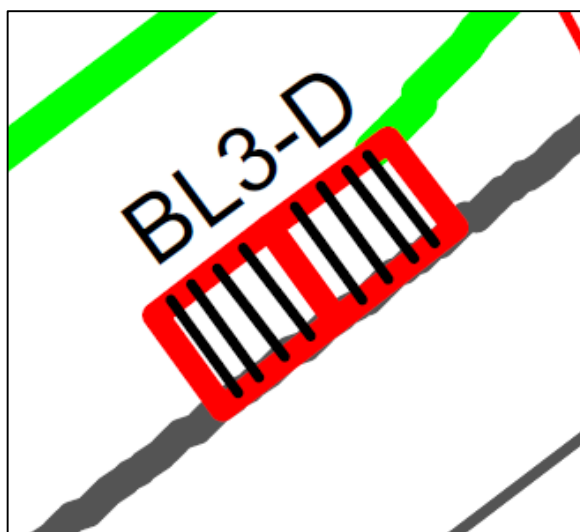


Fonte: Autores (2015).

Para se obter uma drenagem eficiente das águas pluviais, é necessário a escolha adequada do tipo de boca de lobo para cada situação. Para isso, deve-se analisar os fatores físicos e hidráulicos, como vazão de projeto, declividade transversal e longitudinal da sarjeta e da rua, ponto de localização, possibilidades de obstruções e interferência no tráfego.

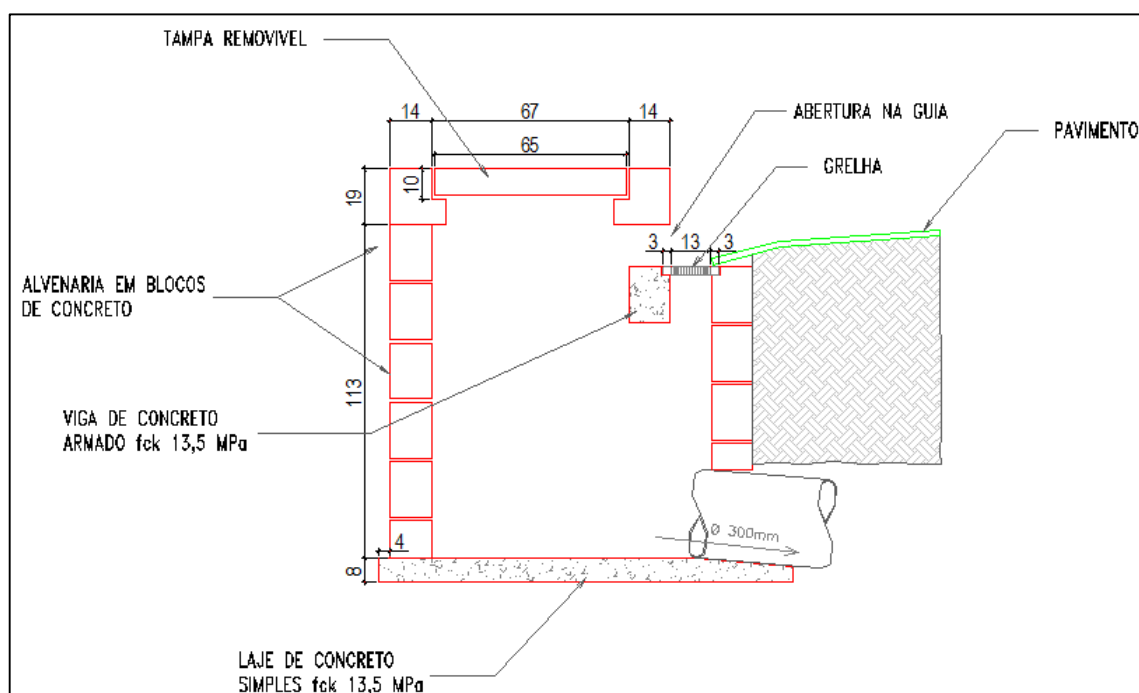
Como dito anteriormente, bocas de lobo de guia simples seriam indicadas somente para pontos intermediários, em sarjetas com pequena declividade longitudinal, com  $I \leq 5\%$ , ou para pontos onde a vazão a ser captada fosse pequena. Nas ruas mais íngremes do residencial, onde a declividade longitudinal das sarjetas é acentuada, o ideal seria a utilização de bocas de lobo múltiplas e de preferência combinadas, com abertura na guia e com grelha (Figuras 44 e 45), como foi utilizado no projeto corrigido (Apêndice K).

Figura 44 - Indicação de boca de lobo dupla.



Fonte: Planta corrigida do projeto de drenagem (2015).

Figura 45 - Detalhe de boca de lobo combinada.



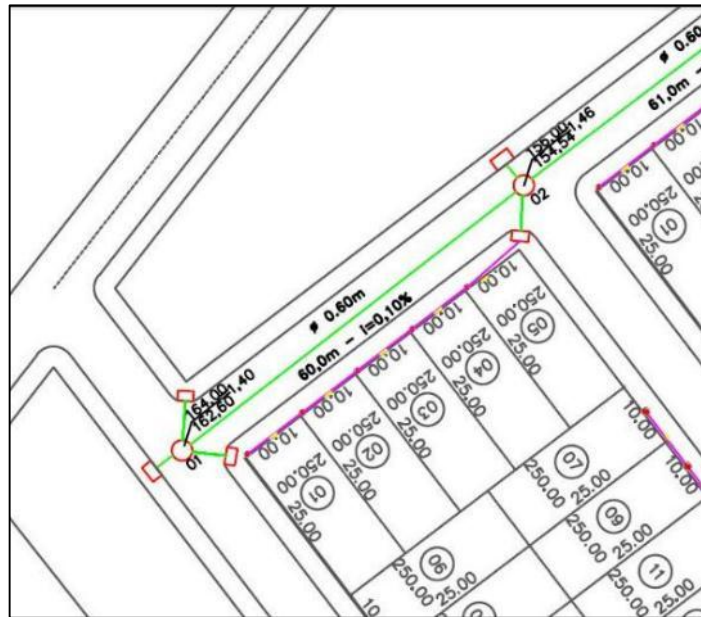
Fonte: Detalhe do projeto de drenagem corrigido (2015).

Este tipo de boca de lobo é mais indicado, pois consegue captar as grandes vazões geradas pela topografia das ruas. Na Figura 38, pode-se observar que há situações de vazões bastante elevadas.

#### 4.3.3 INEXISTÊNCIA DE BOCAS DE LOBO INDICADAS NO PROJETO

Ao analisar a planta de projeto de drenagem do residencial e os elementos executados, observou-se que algumas bocas de lobo não foram construídas nos locais indicados. As Figuras 46 e 47, exemplificam a situação.

**Figura 46 - Indicação de bocas de lobo**



Fonte: Planta do projeto de drenagem original (2015).

**Figura 47 - Inexistência de bocas de lobo.**



Fonte: Autores (2015).

Na Figura 47 observa-se que não foram executadas as bocas de lobo no trecho indicado no projeto, conforme Figura 46. A não execução desses elementos, aliada à sobrecarga gerada pela ausência destes à montante, geram patologias no pavimento devido ao escoamento que não é captado.

#### 4.3.4 INEXISTÊNCIA DE POÇOS DE VISITA INDICADOS NO PROJETO

Outros elementos que constam na planta de projeto de drenagem do residencial são os poços de visita, mas em toda obra foram executados somente quatro que realmente possibilitam acesso à eles. As Figuras 48 a 50 comprovam a não execução desses elementos conforme o projeto.

**Figura 48 - Projeto de drenagem indicando poços de visita.**



Fonte: Planta do projeto de drenagem original (2015).

**Figura 49 - Cruzamentos sem poço de visita.**



Fonte: Autores (2015).

**Figura 50 - Ponto intermediário sem poço de visita.**



**Fonte: Autores (2015).**

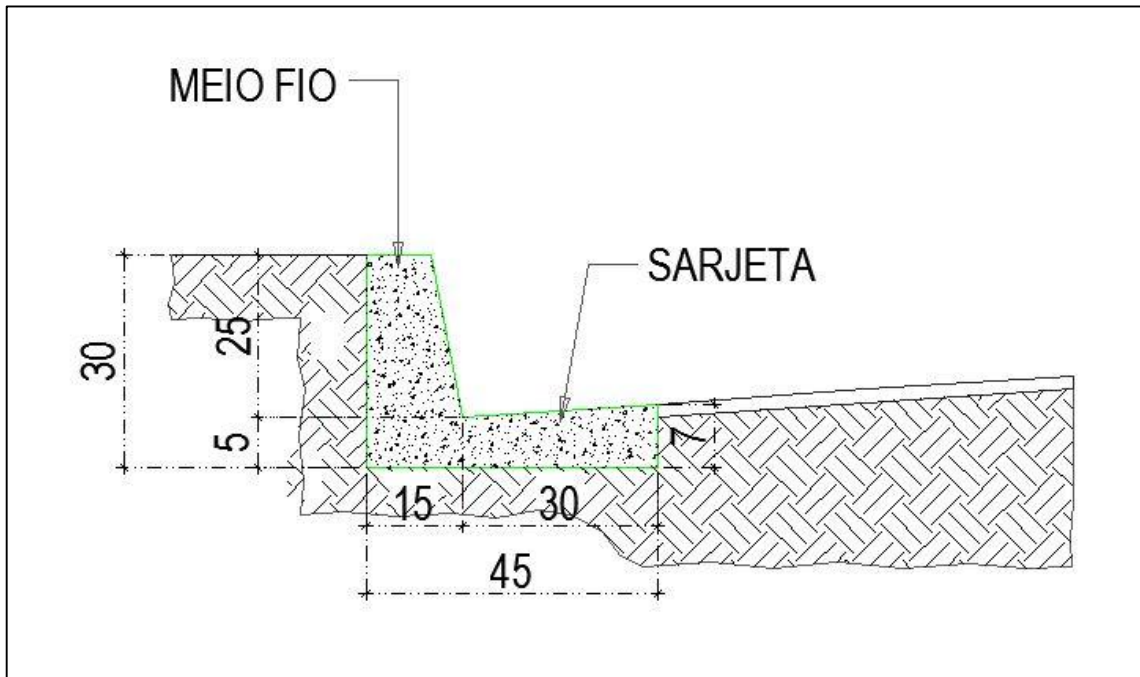
Poços de visita são elementos importantes, pois possibilitam a ligação das bocas de lobo à rede coletora, permitem mudanças de direção, de declividade e de diâmetros dos tubos da rede, além de propiciarem acesso para inspeção e limpeza.

O que se observa na obra, pelas figuras apresentadas, é que foram utilizadas caixas de passagem para a ligação das bocas de lobo à rede, elementos que não permitem o acesso como os poços de visita, contrariamente à indicação do projeto de drenagem.

#### **4.3.5 SARJETAS NÃO EXECUTADAS CONFORME PROJETO**

Todas as sarjetas executadas no residencial são do tipo pré-moldada e com mesma dimensão em todas os trechos. Observou-se na obra que as dimensões das sarjetas não estão em conformidade com as indicadas no projeto original (Figuras 51 e 52).

Figura 51 - Detalhe da sarjeta no projeto original.



Fonte: Planta do projeto de drenagem original (2015).

Figura 52 - Sarjeta executada na obra.



Fonte: Autores (2015).

Na Figura 51, detalhe do projeto, nota-se a indicação das dimensões da sarjeta, com altura de 25 cm para a guia e largura de 30 cm. No entanto, a Figura 52 mostram que foram executadas com dimensões menores do que o indicado, com altura e largura medindo 17 cm. As dimensões da sarjeta são importantes para o cálculo da capacidade de vazão das mesmas, utilizada no projeto de drenagem, portanto, deveriam estar conforme o projeto específica.

#### 4.3.6 SÍNTESE DOS PROBLEMAS ESTRUTURAIS DO SISTEMA DE DRENAGEM

A Tabela 8 apresenta o resumo das causas dos problemas estruturais encontrados no sistema de drenagem de águas pluviais do residencial.

**Tabela 8 - Resumo das causas dos problemas de drenagem do residencial.**

Problemas encontrados	Causas	
	Erro de projeto	Erro de execução
Inadequado posicionamento das bocas de lobo	X	-
Tipo de boca de lobo adotado	X	-
Inexistência de bocas de lobo em alguns trechos	-	X
Inexistência de poços de visita em alguns trechos	-	X
Execução inadequada das sarjetas	-	X

**Fonte: Autores (2015).**

Pode-se concluir que os danos ocasionados nas ruas do residencial estão intimamente ligados ao inadequado funcionamento do sistema de drenagem. Dentre os fatores que implicaram na falha desse sistema, estão desde erros no projeto original, que indica formas de execução não recomendadas dos componentes de drenagem, até erros no processo construtivo do sistema, onde algumas indicações importantes do projeto não foram executadas.

As grandes declividades das ruas possuem grande influência na deterioração dos elementos de drenagem, uma vez que geram grandes velocidades de escoamento que degradam as sarjetas e galerias do sistema.

Durante a elaboração do projeto de drenagem corrigido, foram mantidas as velocidades de escoamento dentro dos valores recomendados nos referenciais. Para isso, considerando as cotas atuais das ruas e descartando novas obras de nivelamento no residencial, foi necessário rebaixar as cotas da rede coletora nos poços de visita e caixas de ligação, resultando em grandes profundidades em alguns desses elementos, a fim de diminuir as declividades nos trechos de galerias que interligam esses componentes e, conseqüentemente, diminuindo as velocidades de escoamento. Além disso, foi recomendada a utilização de acabamento áspero nos revestimentos de concreto das

sarjetas e galerias para aumentar o atrito e diminuir as velocidades de escoamento das águas nestes elementos.

No dimensionamento das bocas de lobo, foi considerada a captação total da vazão de água proveniente das sarjetas à montante de cada elemento, sem a utilização de sarjetões nos cruzamentos, a fim de evitar que houvesse excedente de água e a grande velocidade do escoamento viesse a danificar trechos de ruas à jusante.

## 5 CONCLUSÕES

Apesar de serem muito importantes, as obras de infraestrutura nem sempre são prioridade para os construtores. No entanto, como foi observado no presente trabalho, um sistema de drenagem de águas pluviais inadequadamente projetado e ineficiente pode gerar grandes prejuízos.

A análise da planta de drenagem do residencial Cristo Vive deixou claro a displicência na sua elaboração, pois conceitos básicos de drenagem foram ignorados, tornando o sistema de drenagem do local ineficiente e ocasionando imensos prejuízos financeiros aos responsáveis pela obra. A grande declividade do local implicava que medidas especiais de controle do escoamento fossem tomadas, o que não ocorreu, tendo como resultado os problemas relatados.

Os impactos oriundos das falhas do projeto ultrapassam a questão financeira e entram no âmbito social, uma vez que caso não haja a readequação do sistema de drenagem, os futuros moradores do residencial irão viver em um ambiente que transmite insegurança, fazendo com que a qualidade de vida seja diretamente afetada. Outra consequência dos erros do sistema de drenagem do residencial são os impactos ambientais nas redondezas do empreendimento, onde já se percebeu um grande processo erosivo, além da degradação do solo na região e o consequente assoreamento do igarapé à jusante.

A alternativa apresentada neste trabalho para readequação do sistema de drenagem de águas pluviais do residencial “Cristo Vive”, utilizou como referência as literaturas mais usuais sobre o tema, sendo composta por planilhas de dimensionamento e por um projeto básico onde foram indicadas as soluções para os erros desse sistema.

A manutenção da topografia das ruas implicou em algumas medidas para a redução da velocidade do escoamento e dos impactos por ela originados, como por exemplo, maiores dimensões de bocas de lobo para total captação do volume de água à montante e grandes rebaixamentos nas cotas dos poços de visita na saída das redes coletoras, afim de diminuir a declividade dos trechos da rede e consequentemente a velocidade do escoamento.

Diante dos processos de erosão e assoreamento que ocorrem à jusante da obra, decorrentes das águas do sistema de drenagem que são lançadas na área, é aconselhado que, nos pontos dos exutórios da rede, sejam implantados dispositivos de dissipação de energia, a fim de dissipar a energia do escoamento, reduzindo a velocidade da água e evitando a continuidade dos impactos ambientais, visto que a declividade do terreno é acentuada.

Com a realização desse estudo foi possível observar a importância de se ter um projeto bem dimensionado e que respeita as particularidades do local onde será executado, dessa forma é possível evitar transtornos como os enfrentados por essa obra e retrabalhos, o que acaba onerando ainda mais o produto final.

## 5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Durante a realização dos estudos para o dimensionamento do sistema de drenagem, verificou-se que não existem elementos de dissipação de energia para sarjetas. Em declividades longitudinais muito acentuadas, as velocidades de escoamento nesses elementos são muito grandes, causando deterioração dos mesmos e podendo trazer sensação de insegurança à população. Logo, algum mecanismo ou método construtivo capaz de amenizar essa velocidade no decorrer das sarjetas seria importante. Como não existe tais mecanismos específicos para esses componentes, essa é uma linha de pesquisa bastante relevante para futuros trabalhos.
- Outro fato importante identificado durante a elaboração deste trabalho é a inexistência de uma norma brasileira específica de drenagem urbana de águas pluviais. O que existem hoje são instruções normativas de cidades e entidades e métodos de dimensionamentos publicados por autores especialistas no tema. Desta forma, pontos relevantes diferem entre estes métodos, não havendo a padronização necessária do procedimento. Assim, a normatização do processo de dimensionamento do sistema de drenagem de águas pluviais seria de grande ajuda para a elaboração de projetos no futuro, pois o tornaria mais claro e confiável.
- Seria interessante que fosse realizado um trabalho visando a avaliação orçamentária da readequação do projeto aqui proposto, uma vez que isto pode apontar a viabilidade econômica da obra.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AMARAL, Marcos A. C. M. do; et al. Equações de chuvas intensas para o Estado do Pará. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v.16, n.9, p.999–1005, 2012.

BARBOSA JÚNIOR, Antenor Rodrigues. **Escoamento Superficial**. Disponível em:<[http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/6\\_escoamento%20superficial.pdf](http://www.em.ufop.br/deciv/departamento/~antenorrodrigues/6_escoamento%20superficial.pdf)> Acesso em: 15 fev. 2015.

BARRETO, Douglas. Programa de economia de água para edifícios. **Téchne**, São Paulo, 114. ed. set. 2006. Disponível em:< <http://techne.pini.com.br/engenharia-civil/114/artigo286014-1.aspx>> Acesso em 27 jul. 2015.

BELTRAME, Lawson F. S.; LOUZADA, José A. S.; SILVEIRA, André L. L. **Infiltração e armazenamento no solo**. In: Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007.

BRASIL ESCOLA. **Tipos de Erosão**. Disponível em:<<http://www.brasile scola.com/geografia/tipos-erosao.htm>> Acesso em 04 Mai. 2015.

CAPOANE, Viviane. **Erosão e assoreamento - causas e consequências para a qualidade da água**. 2014. Disponível em:<[http://w3.ufsm.br/labgeotec/pdf/hidrogeografia/Aula\\_Erosao\\_e\\_assoreamento.pdf](http://w3.ufsm.br/labgeotec/pdf/hidrogeografia/Aula_Erosao_e_assoreamento.pdf)> Acesso em 28 Abr. 2015.

CAETANO, Hugo; et al. Comportamento hidrológico de bacias hidrográficas: integração de métodos e aplicação a um estudo de caso. **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, MG, v. 60, n. 3, 525-536, jul. 2007.

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

COOPERATIVA DE SERVIÇOS E PESQUISAS TECNOLÓGICAS E INDUSTRIAIS – CPTI. **Elaboração de mapa de feições erosivas urbanas e rurais da bacia do rio São José dos dourados**. 2008. Disponível em:<[http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7069/2008\\_erosao\\_sjd.pdf](http://www.sigrh.sp.gov.br/public/uploads/documents/7069/2008_erosao_sjd.pdf)> Acesso em 28 Abr. 2015.

CURFS, Michiel; IMESON, Anton. **Erosão do solo**. In: Lucinda – Land Care In Desertification Affected Areas: From Science Towards Application. Série do fascículo: B, n. 1. 2006. Disponível em:<[http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1\\_Booklet\\_Final\\_PT.pdf](http://geografia.fcsh.unl.pt/lucinda/booklets/B1_Booklet_Final_PT.pdf)> Acesso em 29 Abr. 2015.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Projeto de Drenagem**: Instrução de Projeto. São Paulo: Secretaria dos Transportes, rev. A, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **ÁLBUM DE PROJETOS-TIPO DE DISPOSITIVOS DE DRENAGEM**. 2. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Planejamento e Pesquisa Instituto de Pesquisas Rodoviárias, 2006.

EBANATAW, 2013. **Boca de Lobo.** Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/drenagem/bocadelobo.htm>> Acesso em: 25 mar. 2015.

FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE HIDRÁULICA (FCTH). **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais.** 1. ed. São Paulo, SP, 2012. 170 p.

HAMMES, Valéria Sucena. Julgar: percepção do impacto ambiental. 3. ed. rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2012. v. 4. **Erosão, um indicador de impacto ambiental**, p. 40-43.

KROLOW, Fabiane. **Infra Estrutura.** Disponível em:< <http://fabianekrolow.blogspot.com.br/>> Acesso em: 10 ago. 2015.

LIMA, João Pedroso de. (Coord.). **Hidrologia Urbana: Conceitos Básicos.** Lisboa: Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos (ERSAR); Universidade Coimbra, jun. 2010.

METALICA. **Drenagem Urbana.** Disponível em: <<http://www.metalica.com.br/drenagem-urbana>> Acesso em: 05 out. 2015.

OPERSAN. **Como o meio ambiente influencia na disponibilidade de água.** Mar. 2015. Disponível em: <<http://info.opersan.com.br/bid/204989/Como-o-meio-ambiente-influencia-na-disponibilidade-de-gua>> Acesso em 29 abr. 2015.

PIGOSSO, Márcio; et al. **Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jirau Alto - Dois Vizinhos – Paraná.** In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 18, 2009, Campo Grande. Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Dois Vizinhos: União de Ensino do Sudoeste do Paraná – UNISEP, 2009. v. 1. p. 1-20.

PINHEIRO, Sérgio Avelino; PINTO, Luiza Helena. **Orientações básicas para drenagem urbana.** Belo Horizonte: Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM), 2006.

PORTO, Rubem L. L. et al. **Drenagem Urbana.** In: Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007.

PORTO ALEGRE (Cidade). **Plano diretor de drenagem urbana: Manual de drenagem urbana.** Porto Alegre: Prefeitura Municipal de Porto Alegre; Universidade Federal do Rio Grande do Sul, v 6, set. 2005.

RIGHETTO, A.M. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas.** Projeto PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

RIO DE JANEIRO (Cidade). **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana.** Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro; Obras – Rio-Águas, versão 1, dez. 2010.

SANTOS, Rozely Ferreira dos (Org.). **Vulnerabilidade Ambiental: Desastres Naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: MMA, 2007.

SÃO PAULO (cidade). **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** São Paulo: Prefeitura do Município de São Paulo; Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica, abr. 1999.

SILVEIRA, André L. Lopes da. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: Hidrologia: ciência e aplicação. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2007.

STEINER, LAURA. Avaliação Do Sistema De Drenagem Pluvial Urbana Com aplicação Do Índice De Fragilidade. Estudo De Caso: Microbacia Do Rio Criciúma, SC. 2011. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – UNIVERSIDADE DO EXTREMO SUL CATARINENSE, Criciúma, 2011.

TOMAZ, Plínio. Tempo de concentração. In: **Curso de Manejo de Águas Pluviais**, 2013. Disponível em: <[http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf)> Acesso em 20 jul. 2015.

TUCCI, Carlos E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ea/v22n63/v22n63a07.pdf>> Acesso em: 28 jul. 2015.