



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

GUSTAVO ANDRADE MORENO COSTA

**VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM POR MEIO
DO MÉTODO RACIONAL NO MEIO URBANO DE SÃO LUÍS: Estudo de caso da
Avenida dos Africanos**

São Luís
2018

GUSTAVO ANDRADE MORENO COSTA

VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM POR MEIO DO MÉTODO RACIONAL NO MEIO URBANO DE SÃO LUÍS: Estudo de caso da Avenida dos Africanos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof^ª. Msc. Ana Carolina da Cruz Reis

Coorientador: Prof. Msc. Daniel de Lima Nascimento Sírío

São Luís
2018

COSTA, GUSTAVO ANDRADE MORENO.

VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM POR MEIO DO MÉTODO RACIONAL NO MEIO URBANO DE SÃO LUÍS: ESTUDO DE CASO DA AVENIDA DOS AFRICANOS / GUSTAVO ANDRADE MORENO COSTA.

- 2018.

106 p.

Coorientador(a): DANIEL DE LIMA NASCIMENTO SÍRIO.

Orientador(a): ANA CAROLINA DA CRUZ REIS.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUIS, 2018.

1. DRENAGEM URBANA. 2. ELEMENTOS HIDRÁULICOS. 3. GEOPROCESSAMENTO. 4. MÉTODO RACIONAL. 5. VAZÃO DE PROJETO. I. REIS, ANA CAROLINA DA CRUZ. II. SÍRIO, DANIEL DE LIMA NASCIMENTO. III. Título.

GUSTAVO ANDRADE MORENO COSTA

VIABILIDADE DA CONSTRUÇÃO DE UM SISTEMA DE DRENAGEM POR MEIO DO MÉTODO RACIONAL NO MEIO URBANO DE SÃO LUÍS: Estudo de caso da Avenida dos Africanos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Maranhão como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Msc. Ana Carolina da Cruz Reis

Prof. Msc. Daniel de Lima Nascimento Sírío

Prof. Dr. Maxwell Ferreira Lobato

Dedico este trabalho especialmente a Deus, pois me deu forças para poder elaborá-lo, em segundo ao meu pai Antonio Oscar Oliveira Costa e a minha mãe Valde Maria Andrade Moreno Costa por todo apoio e compreensão e a toda minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradecer primeiramente e imensamente ao meu bom Deus, que sempre esteve comigo em toda caminhada acadêmica na universidade e que me proporcionou a oportunidade de cursar o curso de Engenharia Civil, me dando forças e sabedoria.

Em seguida quero agradecer especialmente ao meu pai Antonio Oscar Oliveira Costa e minha mãe Valde Maria Andrade Moreno Costa por toda dedicação e investimento realizado na minha formação como profissional, pelo apoio nos momentos difíceis enfrentados na graduação e por todo amor para comigo.

Agradecer a minha tia Valdilene Moreno Ferreira e seu marido Aldo de Jesus Costa Ferreira e suas filhas Aline Moreno Ferreira e Alicia Moreno Ferreira, que tiveram uma importante participação na minha caminhada profissional.

Ao professor Daniel de Lima Nascimento Sório, por toda dedicação como coorientador, paciência e principalmente todo conhecimento transmitido acerca do tema.

À professora Ana Carolina, como orientadora desse trabalho e principalmente por me dar a ideia acerca do tema e do estudo de caso.

Aos meus amigos de sala que estiveram comigo nesses anos de graduação, por toda compreensão, respeito, crescimento e aprendizado.

A vida é combate,
Que os fracos abate,
Que os fortes, os bravos
Só pode exaltar!
(Gonçalves Dias)

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre drenagem urbana da Avenida dos Africanos, no cruzamento entre os bairros do Coroado e Parque Timbiras. Constatou-se por meio de visitas realizadas no local que tal lugar apresenta sérios problemas no seu mecanismo de microdrenagem, uma vez que os elementos hidráulicos ali existentes por muitas vezes, não produzem o correto escoamento das águas pluviais. O estudo foi elaborado a partir da obtenção das vazões de projeto de duas bacias hidrográficas que contribuem para o local de inundação. Para isso, utilizou-se à aplicação do método racional, que possui como parâmetros à área das bacias, os seus coeficientes de escoamento superficial e a intensidade de chuvas na região. A obtenção desses parâmetros foi realizada por meio de sensoriamento remoto e geoprocessamento, com o auxílio de programas computacionais, como o ArcGIS®, QGIS®, AutoCAD-2015®, Google Earth Pro® e Excel®, por meio de registros fotográficos, de toda área de estudo, e obtenção dos dados dos elementos hidráulicos existentes. Ao serem comparadas as vazões suportadas pelas sarjetas, bocas de lobo e galerias de águas pluviais de projeto e aquelas dimensionadas hidráulicamente nesse estudo, constatou-se a ineficiência do mecanismo de drenagem existente. Conhecendo-se as vazões de contribuição, os tempos de concentração e com o auxílio da equação de chuva de São Luís, foram elencadas algumas sugestões para um projeto de novas dimensões nas obras de arte da microdrenagem que possivelmente viabilizarão o devido escoamento das águas pluviais na área de estudo.

Palavras-chave: drenagem urbana, microdrenagem, elementos hidráulicos, vazões de projeto, método racional, dimensionamento.

ABSTRACT

This paper presents a case study on the urban drainage of the Avenue of Africans, at the intersection between the neighborhoods of Coroado and Parque Timbiras. It has been found by means of on-site visits that such a site presents serious problems in its microdrainage mechanism, since the hydraulic elements there often exist, do not produce the correct drainage of rainwater. The study was elaborated from obtaining the project flows of two hydrographic basins that contribute to the flood site. For that, it was used to the application of the rational method, that has as parameters to the area of the basins, its coefficients of surface runoff and the intensity of rains in the region. These parameters were obtained through remote sensing and geoprocessing, with the aid of computer programs such as ArcGIS®, QGIS®, AutoCAD-2015®, Google Earth Pro® and Excel®. By means of photographic records, of all study area and obtaining the data of the existing hydraulic elements, when comparing the flows supported by the gutters, lobes and galleries of rainwater of project and those hydraulically dimensioned in this study, it was verified the inefficiency of the existing drainage mechanism. Therefore, a succinct project has been developed with new dimensions of such elements that possibly will allow the proper drainage of rainwater.

Keywords: Urban drainage, microdrainage, hydraulic elements, design flows, rational method, sizing.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Sistema de drenagem | 27 |
| Figura 2 – Seção transversal de uma sarjeta | 33 |
| Figura 3 – Locação das bocas de lobos | 35 |
| Figura 4 – Tipos de boca de lobo | 36 |
| Figura 5 – Boca de lobo tipo grelha | 37 |
| Figura 6 – Poço de visita | 40 |
| Figura 7 – Chegada dos tubos no P.V. | 42 |
| Figura 8 – Planilha para dimensionamento de Galeria de Águas Pluviais | 43 |
| Figura 9 – Seção Circular | 44 |
| Figura 10 – Modelo base de sarjeta 1 | 47 |
| Figura 11 – Modelo base de sarjeta 2 | 47 |
| Figura 12 – Modelo adota pela CEHOP – medidas em cm | 48 |
| Figura 13 – Modelo de boca de lobo | 48 |
| Figura 14 – Localização da área de estudo | 54 |
| Figura 15 – Pontos de georreferencia | 55 |
| Figura 16 – Pontos para georreferência | 55 |
| Figura 17 – Pontos disposto na planilha | 56 |
| Figura 18 – Site TOPODA – imagem raster de elevação | 56 |
| Figura 19 – Obtenção de dados da bacia | 58 |
| Figura 20 – Setorização da bacia 01 | 59 |
| Figura 21 – Setorização da bacia 01 | 60 |
| Figura 22 – Cotas e distância das vias | 61 |
| Figura 23 – Seção transversal da sarjeta | 62 |
| Figura 24 – Elementos de Drenagem existente | 63 |
| Figura 25 – Lâmina d'água na tubulação | 64 |
| Figura 26 – Ponto Inundado | 68 |
| Figura 27 – Ponto Inundado | 68 |
| Figura 28 – Ponto inundado | 69 |
| Figura 29 – Foto do ponto inundado | 69 |
| Figura 30 – Foto do ponto inundado | 69 |
| Figura 31 – Foto do ponto inundado | 70 |
| Figura 32 – Foto do ponto inundado | 70 |
| Figura 33 – Foto do ponto de alagamento | 70 |
| Figura 34 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos | 71 |
| Figura 35 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos | 72 |
| Figura 36 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos | 72 |
| Figura 37 – Av. Vicente Venâncio de Queiroga | 73 |
| Figura 38 – Topografia da região de alagamento | 73 |
| Figura 39 – Canal | 74 |
| Figura 40 – Boca de lobo obstruída | 74 |
| Figura 41 – Mapa de delimitação das bacias | 75 |
| Figura 42 – Mapa de delimitação das bacias na urbanização | 76 |
| Figura 43 – Mapa dos talwegues das bacias | 77 |
| Figura 44 – Mapa de representação da topografia das bacias | 78 |
| Figura 45 – Mapa espectral de elevação das bacias | 79 |
| Figura 46 – Representação dos condutos | 88 |
| Figura 47 – Galeria e Tubos de Ligação – Bairro Coroado | 90 |
| Figura 48 – Padrão adotado de sarjeta | 93 |

| | |
|---|----|
| Figura 49 – Padrão adotado de boca de lobo | 94 |
| Figura 50 – Manilha em concreto armado | 95 |
| Figura 51 – Galerias de Água Pluvial (GAP) projetadas | 96 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Valores do coeficiente de escoamento superficial..... | 28 |
| Tabela 2 – Valores do coeficiente de escoamento superficial por setor..... | 29 |
| Tabela 3 – Parâmetros da equação IDF da Cidade de São Luís – MA..... | 30 |
| Tabela 4 – Coeficiente de simplificação | 32 |
| Tabela 5 – Parâmetros de uma seção triangular..... | 33 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 – Período de retorno..... | 31 |
| Quadro 2 – Diâmetro do tubo de ligação..... | 38 |
| Quadro 3 – Espaçamento dos poços de visita | 39 |
| Quadro 4 – Variação da dimensão A em função do maior diâmetro D | 40 |
| Quadro 5 – Recobrimento mínimo dos tubos GAP | 41 |
| Quadro 6 – Declividade dos tubos | 41 |
| Quadro 7 – Valores do coeficiente de Manning para tubo de concreto..... | 46 |
| Quadro 8 – Áreas da setorização da bacia 01 | 59 |
| Quadro 9 – Áreas da setorização da bacia 02 | 60 |
| Quadro 10 – Cálculo da vazão da sarjeta | 62 |
| Quadro 11 – Cálculo de vazão do conduto principal | 65 |
| Quadro 12 – Parâmetros de dimensionamento das GAP | 66 |
| Quadro 13 – Resultados de área e Perímetro das bacias hidrográficas 01 e 02 | 80 |
| Quadro 14 – Comprimento dos talvegues das bacias hidrográficas 01 e 02 | 80 |
| Quadro 15 – Variação de cotas das bacias hidrográficas 01 e 02 | 81 |
| Quadro 16 – Tempo de concentração das bacias hidrográficas 01 e 02 | 81 |
| Quadro 17 – Intensidade da chuva nas bacias hidrográficas 01 e 02..... | 81 |
| Quadro 18 – Setorização da bacia hidrográfica 01 | 82 |
| Quadro 19 – Setorização da bacia hidrográfica 02 | 82 |
| Quadro 20 – Coeficiente de escoamento das bacias hidrográficas 01 e 02..... | 82 |
| Quadro 21 – Vazão de projeto das bacias 01 e 02 | 83 |
| Quadro 22 – Parâmetros das sarjetas existentes na Avenida dos Africanos | 84 |
| Quadro 23 – Vazão contribuinte para as sarjetas existentes | 84 |
| Quadro 24 – Comparação de vazão nas sarjetas existentes | 85 |
| Quadro 25 – Parâmetros das bocas de lobo existentes na Avenida dos Africanos .. | 85 |
| Quadro 26 – Comparação de vazão nas bocas de lobo existentes | 86 |
| Quadro 27 – Parâmetros do contudo principal 1 | 88 |
| Quadro 28 – Parâmetros do conduto principal 2..... | 89 |
| Quadro 29 – Parâmetros do contudo principal 3 | 89 |
| Quadro 30 – Parâmetros do conduto principal 4..... | 89 |
| Quadro 31 – Parâmetros do conduto principal 5..... | 90 |
| Quadro 32 – Parâmetros do conduto principal do Coroado | 91 |
| Quadro 33 – Vazões das Galerias de Águas Pluviais (GAP) em m ³ /s | 91 |
| Quadro 34 – Quantidade de bocas de lobo para as bacias hidrográficas 01 e 02 | 94 |
| Quadro 35 – Parâmetros e vazão da galaria 01 | 97 |
| Quadro 36 – Parâmetros e vazão da galaria 02..... | 97 |

LISTA DE UNIDADES

| | |
|--------------|---|
| A | Área da bacia de contribuição; |
| A_m | Área de molhado da sarjeta; |
| A_{m_c} | Área de molhado do conduto principal; |
| A' | Largura da boca de lobo tipo grelha; |
| B | Largura da lâmina livre de água no conduto principal; |
| B_s | Largura da sarjeta aferida in loco; |
| B' | Comprimento da boca de lobo tipo grelha; |
| B_s' | Largura da lâmina de água na sarjeta; |
| C | Coefficiente de escoamento superficial; |
| C_{ij} | Cota inferior da galeria a montante; |
| C_{im} | Cota inferior da galeria a jusante; |
| D | Diâmetro do conduto principal; |
| H_b | Altura da abertura da boca de lobo tipo guia sem depressão; |
| h/D | Relação altura diâmetro do conduto principal; |
| i | declividade da via; |
| L_b | Largura da boca de lobo tipo guia sem depressão; |
| L_v | Largura da via; |
| n | Coefficiente de rugosidade de Manning; |
| N_{disp} | Número de dispositivos (bocas de lobo); |
| P_m | Perímetro de molhado da sarjeta; |
| P_{m_c} | Perímetro de molhado do conduto; |
| Q_c | Vazão do conduto principal; |
| Q_{esc} | Vazão de escoamento; |
| Q_{guia} | Vazão de engolimento da boca de lobo tipo guia sem depressão; |
| Q_{grelha} | Vazão de engolimento da boca de lobo tipo grelha; |
| Q_m | Vazão máxima na sarjeta; |
| Q_p | Vazão de projeto; |
| Q_t | Capacidade teórica da sarjeta; |
| R_h | Raio hidráulico do conduto principal; |
| R_{h_s} | Raio hidráulico da sarjeta; |
| s | Declividade do conduto principal; |
| t_c | Tempo de concentração; |

- t_p *Tempo de percurso;*
- y *Altura da sarjeta aferida in loco;*
- y_o *Altura da lâmina de água na sarjeta;*
- V *Velocidade de escoamento;*
- Θ *Ângulo central formado pela lâmina de água no conduto principal;*
- Θ_s *Ângulo formado pelo escoamento na sarjeta.*

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1 Considerações Iniciais | 17 |
| Problema | 19 |
| Objetivos | 19 |
| Objetivo Geral | 19 |
| Objetivos Específicos | 19 |
| 1.2 Justificativa | 20 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 21 |
| 2.1 Drenagem Urbana | 21 |
| 2.2 Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Drenagem Urbana | 21 |
| 2.2.1 Aplicações do Geoprocessamento na Criação de Mapas | 22 |
| 2.2.2 Aplicação do Geoprocessamento na Busca de Dados Hidrológicos | 24 |
| 2.3 Gerenciamento e Planejamento Urbano | 24 |
| 2.3.1 Projeto de Drenagem Urbana..... | 25 |
| 2.4 Alternativas de Controle e Solução das Inundações | 26 |
| 2.4.1 Obra de Microdrenagem e dimensionamento dos elementos hidráulicos | 26 |
| 2.4.2 Determinação da Vazão de Projeto pelo Método Racional | 27 |
| 2.4.3 Vazão de Escoamento Superficial..... | 32 |
| 2.4.4 Sarjetas | 32 |
| 2.4.5 Bocas de lobo..... | 34 |
| 2.4.6 Tubos de Ligação | 38 |
| 2.4.7 Poço de Visita (P.V.) | 39 |
| 2.4.8 Galeria de Águas Pluviais (Conduto Principal) | 40 |
| 2.5 Modelo Base para Elaboração do Projeto de Drenagem | 47 |
| 2.5.1 Sarjeta | 47 |
| 2.5.2 Boca de Lobo | 47 |
| 2.6 Especificações Construtivas de um Sistema de Drenagem Urbana ... | 48 |
| 2.6.1 Localização da Obra | 49 |
| 2.6.2 Abertura da Vala | 49 |
| 2.6.3 Escoramento da Vala | 50 |
| 2.6.4 Esgotamento da Vala | 50 |
| 2.6.5 Execução do Lastro dos Tubos | 50 |
| 2.6.6 Poços de Visita (P.V.)..... | 51 |
| 2.6.7 Argamassa de Uso Geral | 51 |
| 2.6.8 Alvenaria de Tijolos ou Blocos de Concreto | 52 |
| 2.6.9 Concreto..... | 52 |
| 2.6.10 Reaterro da Vala | 52 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 54 |
| 3.1 Área de Estudo | 54 |
| 3.2 Desenvolvimento do Estudo | 54 |
| 3.3 Execução do Geoprocessamento | 55 |
| 3.4 Aplicação do Método Racional | 57 |
| 3.4.1 Área das Bacias Hidrográficas | 57 |
| 3.4.2 Intensidade Média de Precipitação – IDF | 58 |
| 3.4.3 Coeficiente de Escoamento Superficial..... | 59 |
| 3.5 Análise dos Elementos Hidráulicos | 61 |
| 3.5.1 Sarjeta | 61 |
| 3.5.2 Bocas de Lobo | 64 |

| | |
|--|------------|
| 3.5.3 Galerias de Água Pluvial | 64 |
| 3.6 Projeto de Drenagem | 65 |
| 3.6.1 Número de Bocas de Lobo..... | 66 |
| 3.6.2 Galeria de Águas Pluviais | 66 |
| 4. RESULTADOS | 68 |
| 4.1 Ocorrências de Inundações na Área de Estudo | 68 |
| 4.2 Georreferenciamento da Avenida dos Africanos | 75 |
| 4.3 Resultados dos Parâmetros do Estudo de Drenagem | 80 |
| 4.3.1 Área das Bacias Hidrográficas 01 e 02..... | 80 |
| 4.3.2 Intensidade Média de Precipitação - IDF..... | 80 |
| 4.3.3 Coeficiente de Escoamento Superficial..... | 81 |
| 4.3.4 Vazão de Projeto..... | 82 |
| 4.3.5 Sarjeta..... | 83 |
| 4.3.6 Boca de Lobo | 85 |
| 4.3.7 Galeria de Água Pluvial..... | 87 |
| 5. SUGESTÃO DE UM NOVO PROJETO DE DRENAGEM PARA AVENIDA DOS AFRICANOS | 93 |
| 5.1 Sarjeta | 93 |
| 5.2 Boca de Lobo..... | 94 |
| 5.3 Quantidade de Bocas de Lobo | 94 |
| 5.4 Galeria de Água Pluvial..... | 95 |
| 6. CONCLUSÃO | 98 |
| REFERÊNCIAS..... | 100 |
| ANEXOS | 106 |

1. INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

A drenagem urbana é o conjunto de medidas que têm como objetivo minimizar ou impedir inundações causadas pela ação das chuvas, que evita assim riscos à saúde, assegura o patrimônio público e privado e também garante um ambiente seguro, saudável e harmônico crescimento urbano. Segundo Dias e Antunes (2010) drenagem é a expressão utilizada para denominar o escoamento de águas em instalações hidráulicas (sarjeta, boca de lobo, poços de visita e outros), e empregada em rodovias, zonas rurais e em áreas urbanas.

Desde à antiguidade, os povos antigos já utilizavam artifícios que favorecem o percurso da água, uma vez que se estabeleciam próximos aos cursos de água, necessários para sua subsistência, atividades agrícolas e artesanais (BAPTISTA *et al.*, 2005).

O sistema de drenagem urbana é um fator da engenharia essencial para da qualidade a vida das pessoas na cidade, porque visa reduzir os riscos que a população está exposta, uma vez que também diminui as despesas causadas pelas inundações e contribui para o crescimento urbano de forma ordenada.

Microdrenagem é definida como estrutura que leva as águas do escoamento superficial para galerias e canais urbanos, enquanto a macrodrenagem é responsável pelo escoamento final das águas provenientes do sistema de microdrenagem (PINTO e PINHEIRO, 2006). Para que o sistema de drenagem urbana de uma determinada região seja eficiente, deve ser projetada de maneira precisa, pautado na elaboração de um plano diretor, um aparelho que apresenta estratégias que constituem diretrizes para identificação de áreas que serão preservadas, análise da bacia hidrográfica de contribuição, demarcação da várzea de inundação e a determinação de um período de retorno (TEIXEIRA, 2014).

O principal resultado de um ineficiente sistema de drenagem acontece em decorrência das chuvas intensas, o que ocasiona as inundações ribeirinhas, nas galerias, nas ruas e obras de arte subdimensionadas, devido a urbanização incipiente e precária e ao acúmulo de lixo, o que decorre por um lado, do aumento da densidade de uso e ocupação do solo e de obras de infraestrutura, e por outro, das obras de micro e macrodrenagem que ficam às margens desse crescimento infraestrutural,

aumentando áreas impermeáveis e conseqüentemente produzindo o acréscimo das velocidades de escoamento e a diminuição de recarga do lençol freático (PINTO; PINHEIRO, 2006).

Diante disso, para Pinto e Pinheiro (2006) a principal causa das enchentes ocorre devido à ocupação desordenada do solo, tanto do território urbano, quanto a montante de toda área da bacia de contribuição e ao sistema de drenagem que desloca o escoamento para jusante, sem nenhuma preocupação com a retenção dos volumes escoados.

Segundo Canholi (2005) existem duas medidas que visam solucionar o problema das enchentes, denominadas de medidas de controle, que são classificadas em medidas estruturais e não estruturais, em que a primeira é realizada por meio de obras de engenharia (canalização, retardamento do fluxo, restauração de calhas naturais e outras), enquanto a segunda compreende na regularização da ocupação urbana, a conscientização de consumo das pessoas e de suas atividades nas regiões onde residem.

O presente trabalho tem como objetivo fazer um estudo de caso e uma projeção das galerias adequadas de uma importante avenida da cidade de São Luís, que sofre durante um grande período de tempo com os problemas causados pelas chuvas, devido a defeitos relacionados a drenagem urbana, dentre eles, problemas estruturais na avenida e o entupimento das galerias de águas pluviais. O ponto que será estudado está localizado na Avenida Africanos, antiga Avenida Presidente Médici, entre os bairros Parque Timbiras e Coroado. O problema de inundações acontece há anos naquele ponto, e tem seu ponto crítico no período chuvoso da cidade (seis primeiros meses do ano), o que causa inúmeras conseqüências, tais como grandes congestionamentos e acidentes de veículos na avenida, riscos de contaminação de doenças das pessoas que transitam e moram próximas ao ponto inundado, prejuízos econômicos aos comerciantes estabelecidos no local, dentre outros problemas de saúde pública e saneamento.

Portanto, é de suma importância um estudo sobre o problema de drenagem da Avenida dos Africanos, uma vez que por intermédio desse estudo, há uma tentativa de solucionar o problema, para que o mesmo se extingue do local, para se evitar, dessa forma, essas grandes conseqüências apresentadas.

Problema

O crescimento desordenado das cidades aliado a falta de estrutura e o acúmulo de lixo distribuído de forma incorreta são os principais causadores das enchentes de muitas regiões do país (PENA, 2014). Com isso, são inúmeras as consequências ocasionadas pelas enchentes, como: arrasto de material sólido, grandes regiões cobertas por água, aumento de erosão, interrupção de vias, destruição de casas, destruição de colheitas, perdas de vidas, acúmulo de lodo e lama, redução da água potável, poluição de rios e mares e a propagação de doenças (DANIELA, 2010). Diante disso, procuram-se analisar as causas e consequências das inundações e identificar possíveis soluções com sugestão de implantação de um eficiente sistema de drenagem urbana.

Objetivos

Objetivo Geral

Mostrar as consequências que produz a inexistência de um sistema de drenagem eficiente na Avenida dos Africanos e apresentar possíveis soluções de drenagem para garantir o correto escoamento da água na área de estudo.

Objetivos Específicos

1. Analisar os principais problemas de escoamento da água na Avenida dos Africanos;
2. Verificar por meio de visitas *in loco* as principais consequências de um ineficiente ou até mesmo inexistente sistema de drenagem da Avenida dos Africanos;
3. Analisar a vazão suportada pelas sarjetas, bocas de lobo e galeria de água pluvial da Avenida dos Africanos;
4. Apresentar padronizações de alguns elementos hidráulicos e o dimensionamento das galerias de águas pluviais que podem compor o sistema de drenagem projetado da Avenida dos Africanos.

1.2 Justificativa

Devido ao acúmulo de água proveniente das chuvas na Avenida dos Africanos, ao crescimento desordenado da cidade e a falta de um plano diretor eficiente e somando a, uma drenagem urbana incapaz de produzir o escoamento da água, decorrem-se grandes problemas de vulnerabilidade à inundação na cidade de São Luís.

A capital ludovicense possui inúmeras regiões onde se observa o grande acúmulo de água devido a um ineficiente sistema de drenagem urbana, o que acarreta a degradação do meio ambiente, redução da mobilidade de veículos, saneamento precário e a destruição das camadas pavimentadas das avenidas. A Avenida dos Africanos, no ponto próximo à entrada do Bairro Parque Timbiras, sofre as enormes consequências de um sistema deficiente de drenagem urbana, onde se observa a concentração de água nos trechos das avenidas e ruas que ligam bairros contíguos e adjacentes, o que causa no mínimo, um grande congestionamento de veículos.

Portanto, é de suma importância controlar as enchentes causadas por um ineficiente sistema de drenagem, proporcionando um melhor fluxo de veículos e evitando o surgimento de doenças das pessoas que ali passam, uma vez que com um correto mecanismo de drenagem a região terá mais saneamento e maior proteção da pavimentação. Para isso, é necessário um estudo de caso da Avenida dos Africanos, por meio da realização do estudo de campo e de relatórios para a melhor identificação das causas das inundações, para que se cheguem a resultados que colaborem para a criação do projeto de drenagem do local e solucione em partes ou ao todo o problema aqui apresentado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Drenagem Urbana

A drenagem urbana é um sistema que tem como objetivo escoar as águas acumuladas em algumas regiões, por meio de elemento hidráulicos: tubos, túneis, canais, valas e outros (TEIXEIRA, 2014). Estudar os problemas causados devido à falta de drenagem e aplicar soluções a eles devem ser priorizados, uma vez que as inundações urbanas, além de causarem grandes perdas materiais e impactos no meio ambiente, tem como principal consequência a perda de vidas humanas, que diferente de outros tipos de perdas, não podem ser mensuradas monetariamente (VALENTE, 2013).

No estudo de drenagem urbana deve-se levar em consideração a bacia hidrográfica onde a área inundada está contida, que é definida como uma área delimitada topograficamente, em que os locais de maiores elevações são os divisores de águas com outras bacias adjacentes, e toda chuva que cai na região da bacia hidrográfica é escoada pela ação da gravidade para se concentrar numa única região ou mais regiões de drenagem deficiente do talvegue, que alimentado de forma superficial ou subterrânea (VALENTE, 2013). Portanto, para entender e quantificar e consequentemente realizar todo um estudo de drenagem, é necessário estudar os parâmetros relacionados as suas características físicas, geológicas e vegetativas (VALENTE, 2013).

2.2 Geoprocessamento Aplicado ao Estudo de Drenagem Urbana

Um dos grandes problemas enfrentados pelo gerenciamento urbano é a falta de dados e estudos que levem a execução de atividades que solucionem os problemas encontrados, com isso, a engenharia vem contando com o auxílio de *softwares* que trabalham na busca de bases que auxiliam nas soluções da engenharia, dentre eles tem-se o geoprocessamento, onde no momento atual é considerado uma ferramenta fundamental na gestão pública (CORDOVEZ, 2002).

O geoprocessamento é uma computação informatizada de elementos georreferenciados, ou seja, são técnicas computacionais que trabalham a partir de base de dados geográficos e dados de todo espectro de uma gama imensa de

atributos, tais como o de características físicas, climáticas, de uso e ocupação, geologia, geotecnia, hidrologia, hidráulica, saneamento, sociais, de saúde e dentre outros (SILVA, 2009). Segundo Silva *apud* Moura (2007), geoprocessamento é um grupo de tecnologias voltadas à obtenção e processamento das informações do espaço. Segundo Junior (2017) geoprocessamento é uma etapa dos Sistemas de Informações Geográficas que seleciona todas as informações das imagens de satélites e aerofotogramétricas, ou seja, mensuração das dimensões reais dos elementos por meio de imagens aéreas.

O sistema individual de cada processamento é definido como Sistemas de Informações Geográficas – SIGs, em que segundo Silva (2007), o SIG pode ser usado como ferramenta na criação de mapas, análise espacial de ocorrências, mapas de fluxos e como banco de informações. Segundo o mesmo autor, o SIGs ainda pode auxiliar nas aplicações de arqueologia, geologia, informações sobre zoneamento, propriedades, estradas, escolas e parques, relacionadas a localizações geográficas. Para Ribeiro *et al.* (2006), os SIGs são programas computacionais que acionam dados gráficos e não gráficos (alfanuméricos), juntando a base espacial de referência (mapa) e dados em torno de elementos geograficamente representados no mapa. Segundo Duarte (2010) existe uma grande dificuldade no gerenciamento para administração pública, pois diversas informações são amplamente distribuídas no território, e é por meio do SIGs, que se tem tido uma eficácia que possibilita uma visão mais ampla dos territórios e auxiliando na tomada de decisões e soluções de problemas.

2.2.1 Aplicações do Geoprocessamento na Criação de Mapas

A criação de um mapa por meio do mecanismo de geoprocessamento possui uma intrínseca relação com imagens SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), que segundo Sousa *et al.* (2006) foi uma missão comandada pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dos E.U.A com o objetivo de elaborar o levantamento altimétrico da superfície terrestre entre os paralelos 60º Norte e 58º Sul. Para se trabalhar em uma imagem SRTM ou qualquer outro tipo de imagem auxiliar no geoprocessamento deve se aplicar o georreferenciamento de tais imagens, seja de forma automática ou manual, que segundo Júnior e Barbassa (2012) o georreferenciamento tem como objetivo minimizar as deformações de um determinado mapa, ou seja, buscar um modelo que melhor se adequasse as

características do terreno. Sistemas como o WGS 84 (*World Geodetic System*) e o SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) são estruturas de grande destaque no geoprocessamento (JÚNIOR e BARBASSA, 2012).

Para um mapa ser reproduzido, os seus dados, principalmente as suas coordenadas, precisam ser colocadas em um plano representativo, realizado através de uma projeção cartográfica, na qual estabelece uma relação precisa biunívoca entre os dados padrão utilizado e sua representação em um plano (JÚNIOR e BARBASSA, 2012).

O uso do geoprocessamento na criação de mapas e obtenção de informações está em diversas áreas do conhecimento, no qual pode ser aplicado na área de planejamento urbano e meio ambiente, no controle urbano e ambiental, mapeamento do uso atual do solo, cadastro de equipamentos públicos e estudos demográficos (TEODORO, 2012). Porém, segundo Junior (2013), o geoprocessamento classifica de uma forma mais geral os mapas, que podem ser:

- ***Mapas Temáticos***

Os mapas temáticos são aqueles que representam conceitos qualitativos, onde são elaborados com técnicas que objetivam uma melhor visualização e comunicação, ou seja, os mapas temáticos devem cumprir a função de dizer o que é e onde é certo fenômenos geográficos utilizando símbolos gráficos particularmente planejados para auxiliar na compreensão de diferenças, semelhanças e promover visualização das correlações pelos usuários (ARCHELA e THÉRY, 2008).

- ***Mapas Cadastrais e Redes***

Segundo Junior (2013) os mapas de rede ou cadastrais (atributos) são aqueles que fazem a localização de algum objeto ou lotes de uma determinada região, como por exemplo na representação da rede de água e esgoto de uma determinada cidade e a malha viária de uma capital.

2.2.2 Aplicação do Geoprocessamento na Busca de Dados Hidrológicos

O estudo de drenagem urbana está diretamente ligado ao uso do geoprocessamento, uma vez que são necessárias as informações da região que ocorre a inundação, ou seja, a utilização de imagens obtidas em satélites produz benefícios significativos nos estudos relacionados aos recursos hídricos, como por exemplo na criação de elementos numéricos do terreno para cadastramento de reservatórios e uso e ocupação do solo urbano (ALCOFORADO *et al.*, 2003). Segundo Borges *et al.* (2015), o uso do geoprocessamento é um instrumento essencial no planejamento das áreas urbanas, no qual gera importantes informações espaciais. Devido a urbanização das áreas onde há as inundações, ocorrem o desaparecimento das áreas de armazenamento e escoamento das águas da chuva, ou seja, em muitas regiões onde ocorre fortes inundações não é perceptível cursos d'águas que foram parcialmente impermeabilizados devido à ocupação do solo, no quais acabam ressurgindo no período chuvoso (BORGES *et al.*, 2015). Logo, é por meio do geoprocessamento que irá se obter os cursos d'águas presentes naquela região.

2.3 Gerenciamento e Planejamento Urbano

Com o crescimento urbano das cidades brasileira, observam-se inúmeros impactos na população e no meio ambiente, nos quais vêm degradando a qualidade de vida das pessoas, uma vez que em muitos casos há o aumento da frequência e nível das inundações e conseqüentemente, prejudica a qualidade da água e eleva a quantidade de materiais sólidos no escoamento pluvial (CRUZ *et al.*, 2015). Tal situação é desencadeada principalmente pelo modo de como as cidades tem se desenvolvido, com falta de planejamento, falta de controle e uso do solo, ocupação em áreas de risco e sistemas de drenagem inadequados (CRUZ *et al.*, 2015).

Segundo Canholi (2015) a falta de um sistema eficiente de drenagem na etapa inicial do crescimento urbano pode gerar futuros problemas na elaboração de soluções caras e até mesmo inviáveis. O mesmo autor afirma ainda que tal situação demonstra a grande importância do planejamento no crescimento urbano e à adoção dos sistemas de drenagem.

2.3.1 Projeto de Drenagem Urbana

Um importante aliado no gerenciamento e planejamento do crescimento urbano, no que tange a definição do tipo de drenagem a ser utilizada, é o projeto, pois o quadro atual das cidades brasileiras demonstra uma urgente necessidade de organização com relação a drenagem urbana e que precisam da sua elaboração em busca por de recursos para a execução de obras e recuperação de estruturas existentes (DAL-PRÁ, 2016).

Segundo Ramos *et al.* (1999, p.11) os projetos de drenagem urbana, possuem os seguintes objetivos:

- 1) Minimizar a exposição da população e das residências ao risco de inundações;
- 2) Reduzir os estragos causados pelas inundações;
- 3) Preservar as várzeas não ocupadas, garantindo a sua capacidade de escoamento e armazenamento;
- 4) Garantir que as medidas solucionarias sejam adequadas com a região;
- 5) Reduzir os problemas de erosão e sedimentação;
- 6) Preservar a qualidade ambiental e o bem-estar da sociedade;
- 7) Possibilitar o uso da região de várzea para atividade de lazer e contemplação.

Ramos *et al.* (1999) afirma ainda que o programa de drenagem deve ser norteado a partir dos seguintes princípios: o sistema de drenagem é parte do sistema ambiental urbano; as várzeas são áreas de armazenamento natural; drenagem é um problema de destinação de espaço; as medidas de controle de poluição são parte essencial num plano de drenagem.

O projeto de drenagem é um elemento essencial para garantir um ordenamento urbano, uma vez que se estabelece critérios básicos para o desenvolvimento da drenagem a partir do crescimento das cidades, além de evitar perdas econômicas, melhorar as condições de saneamento e qualidade de vida das cidades (CRUZ *et al.*, 2015).

Para Canholi (2015) os projetos de drenagem urbana devem possuir importantes informações para sua elaboração, tais como: dados físicos da bacia que abrange a região inundada, dados hidráulicos, dados hidrológicos, dados de uso e ocupação da área de estudo, dados de qualidade da água, diretrizes para a aprovação de projetos no âmbito da bacia, os planos de financiamento (agências que garantem recursos para realização do projeto e da obra) e as políticas de fiscalização por parte dos órgão responsáveis da cidade.

Um outro importante aliado no gerenciamento e planejamento urbano com o objetivo de garantir um eficiente sistema de drenagem, são os planos diretores das cidades, uma vez que segundo o Estatuto das Cidades, o plano diretor é um instrumento básico de desenvolvimento para o planejamento municipal, com o objetivo da implantação de uma política de desenvolvimento urbano, que norteia a ação dos agentes públicos e privados, no qual se observa a contemplação dos aspectos da situação do município quanto ao meio físico que condicione o uso e ocupação do solo, os principais aspectos socioeconômicos e identifique os problemas existentes, os detalhes da infraestrutura, faça levantamento e boa gestão dos equipamentos sociais, administrativos e serviços urbanos de uma cidade. (BRASIL, 2001).

2.4 Alternativas de Controle e Solução das Inundações

Há vários métodos de drenagem para combater as inundações em uma determinada rua, avenida ou rodovia, que podem ser classificados em sistemas higienistas ou compensatórios, macro e microdrenagem, e também medidas estruturais e não estruturais (KOBAYASHI, 2008).

Para a determinação do projeto de uma avenida, utilizam-se elementos de microdrenagem, na qual é definida como a captação e transporte das águas superficiais por pequenas e médias galerias (MILHOMEM, 2012).

2.4.1 Obra de Microdrenagem e dimensionamento dos elementos hidráulicos

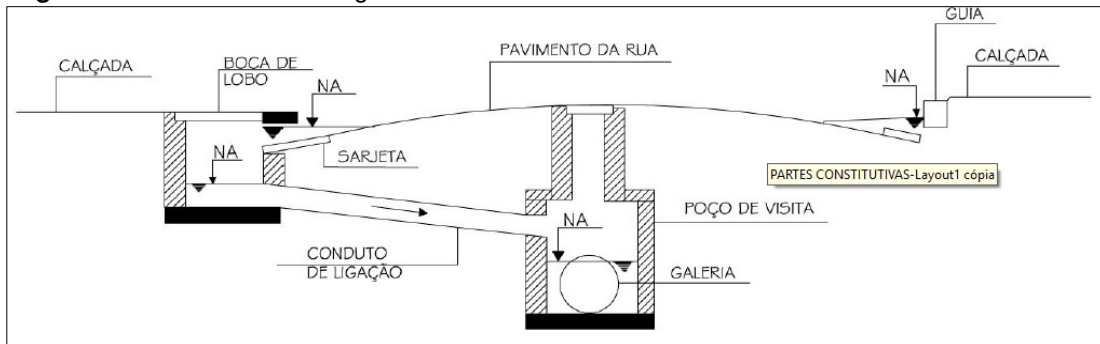
No dimensionamento de um projeto de microdrenagem, deve-se atentar para alguns fatores essenciais para sua elaboração, dentre eles os principais são: a topografia da área de estudo, a geologia da área, o traçado das ruas e o sistema pluvial (BOTELHO, 2011). Porém, segundo Ramos *et al.* (1999) o dimensionamento da rede para o escoamento das águas superficiais deve seguir as seguintes etapas:

- Subdivisão da área e traçado;
- Determinação das vazões que afluem à rede de condutos;
- Dimensionamento das redes de condutos.

Segundo Gontijo *et al.* (2006), o sistema de drenagem urbana de transposição das águas pluviais é o conjunto de sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, galerias e estruturas especiais, existentes ou que deveriam existir nas vias urbanas, e cujos

elementos hidráulicos que compõem sua rede de drenagem são ilustrados na Figura 1.

Figura 1 – Sistema de drenagem



Fonte: Infraestrutura Urbana e Meio Ambiente (2016).

A partir do conhecimento de todas as etapas para o desenvolvimento de um projeto de drenagem urbana, devem-se levar em consideração todos elementos que compõe a rede e suas definições. Segundo Ramos *et al.* (1999), as definições dos elementos são:

- **Sarjetas:** dispositivo receptor das águas pluviais que incidem na via pública;
- **Bocas-de-lobo:** elemento hidráulico responsável por captar as águas das sarjetas;
- **Tubos de ligação:** condutos destinados a transportar as águas captadas na boca de lobo para as galerias;
- **Poço de visita:** dispositivo usado em locais de mudança de direção, declividade de diâmetro da tubulação e também usado para limpeza das tubulações;
- **Galeria:** canalização usada para conduzir as águas captadas nas bocas de lobos.

Segundo Ramos *et al.* (1999), deve ser elaborada toda concepção do projeto de drenagem para os mais variados traçados dos elementos, levando em consideração os dados da topografia existente e o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico.

2.4.2 Determinação da Vazão de Projeto pelo Método Racional

No dimensionamento do sistema de drenagem é necessário que haja uma vazão de projeto para que se possa obter resultados importantes para a elaboração de todo o projeto, na qual constitui-se um parâmetro essencial no dimensionamento das estruturas hidráulicas, das obras de engenharia e no alcance de cotas de alerta de inundações (STEFFEN e RONDON, 2000). Portanto, por meio do Método

Racional, a vazão da área de contribuição (ou vazão de projeto) pode ser calculada segundo a Equação 1 abaixo, onde Filho e Costa (2012) afirmam que podem ser aplicadas para bacias urbanas com 50ha a 3km².

$$Q_p = C.I.A \quad (1)$$

Onde, Q_p é a vazão da área de contribuição (m³/s); A é a área de da bacia de contribuição (m²); I é a intensidade média da precipitação (mm/h); e C o coeficiente de escoamento superficial.

A determinação da vazão de projeto pelo Método Racional é bastante consolidada na literatura por sua simplicidade, e por essa razão, é o mais utilizado e tem uma grande aceitação devido a clareza de aplicação e sobretudo por seus dados empíricos obtidos, em sua maioria, serem satisfatórios (STEFFEN e RONDON, 2000). Para Botelho (2011), a vazão de projeto poderá determinar a quantidade de bocas de lobo a serem utilizadas em um determinado ponto.

- **Coeficiente de Escoamento Superficial**

A determinação do coeficiente de escoamento é realizada levando em consideração diversos fatores, dentre eles Ramos *et al.* (1999) apresenta o solo, a cobertura, o tipo de ocupação, o período de retorno e a intensidade de precipitação. O autor afirma que usualmente a determinação do coeficiente é feita em função da ocupação do solo, e pode ser estabelecido com uso da Tabelas 1.

Tabela 1 – Valores do coeficiente de escoamento superficial

| Zonas | Valor de C |
|---|-------------|
| Edificação muito densa: partes centrais, densamente construídas de uma cidade com ruas e calçadas. | 0,70 – 0,95 |
| Edificação não muito densa: partes adjacentes ao centro, de menos densidade de habitantes, mas com ruas e calçadas pavimentadas. | 0,60 – 0,70 |
| Edificações com poucas superfícies livres: partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas. | 0,50 – 0,60 |
| Edificações com muitas superfícies livres: partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas. | 0,25 – 0,50 |
| Subúrbios com alguma edificação: partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construção. | 0,10 – 0,25 |
| Matas, parques e campos de esporte: partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem pavimentação. | 0,05 – 0,20 |

Fonte: Ramos et al (1998) apud P.S. Wilken (1978).

Já segundo Filho (2014) os valores do coeficiente de escoamento superficial de áreas urbanas que podem ser adotados, são observados na Tabela 2.

Tabela 2 – Valores do coeficiente de escoamento superficial por setor

| | Uso do solo | Valor de C |
|-------------|-----------------------|------------|
| Permeável | Arborização | 0,25 |
| | Mata | 0,10 |
| | Solo exposto | 0,40 |
| | Urbano – Lazer | 0,20 |
| | Deposição de resíduos | 0,40 |
| Impermeável | Central elétrica | 0,50 |
| | Em construção | 0,88 |
| | Asfalto | 0,83 |
| | Urbano – Industrial | 0,88 |
| | Urbano – Residencial | 0,85 |

Fonte: Filho (2014).

Para a obtenção do coeficiente de escoamento, deve se realizar a média ponderada de suas variáveis, em que segundo Tomaz (2013) é utilizado para bacias que possuem uma ocupação muito variada, uma vez que a área em estudo possui edificações, arruamentos pavimentado e não pavimentado e terrenos de solo exposto. O valor de coeficiente foi obtido conforme a Equação 2.

$$C = \frac{A_1 \cdot C_1 + A_2 \cdot C_2 + \dots + A_n \cdot C_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Onde C_1, C_2, \dots, C_n , representam os coeficientes de escoamento de cada ocupação apresentados nas Tabelas 1 e 2, de acordo com suas respectivas áreas A_1, A_2, \dots, A_n .

- **Intensidade Média da Precipitação**

Outra variável que é usada para calcular a vazão de projeto é a intensidade média da precipitação, que segundo Botelho (2011) pode ser obtida a partir da utilização da equação da chuva de cidades em que se conhece o seu regime hidrológico. A equação da chuva é denominada como equação IDF (Intensidade – Duração – Frequência), ou seja, leva em consideração a intensidade da chuva, a

duração da chuva e sua frequência de ocorrências em um determinado lugar. As equações de chuvas intensas são essenciais para o dimensionamento de obras de drenagem urbana, pois são as obras que devem suportar vazões máximas relacionadas as maiores precipitações para um dado período de retorno considerado (COLOMBELLI e MENDES, 2013).

Diante desse contexto, necessita-se da equação IDF da cidade de São Luís, uma vez já definida por Campos *et al.* (2015), que obteve os parâmetros das equações IDFs com base nos dados da pluviometria do Estado do Maranhão, em que os mesmos foram calculados por meio dos dados primários das estações pluviométricas do Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos – SNIRH, da Agência Nacional de Águas (ANA), a partir das estações localizadas em todo estado do Maranhão.

De forma geral, a equação da chuva é representada da seguinte maneira, como mostrado na Equação 3.

$$I = \frac{K \cdot Tr^a}{(t_c + b)^c} \quad (3)$$

Onde, I é a intensidade média de precipitação (mm/h); Tr é o período de retorno (anos); t_c é tempo de concentração (min) e K , a , b e c são os parâmetros ajustados com base nos dados pluviométricos de cada localidade.

Para obtenção da equação da chuva da cidade de São Luís, realizou os ajustes dos parâmetros K , a , b e c , expressos na Equação 3, utilizando um modelo de regressão linear, em que apresentaram confiabilidade de dados climatológicos estudados (Campos *et al.*, 2015). Portanto, para a cidade de São Luís foram obtidos os parâmetros apresentados na Tabela 3.

Tabela 3– Parâmetros da equação IDF da Cidade de São Luís – MA

| Código/ Estação | Município | Latitude | Longitude | K | a | b | c |
|--------------------|-----------|----------|-----------|----------|-------|----|-------|
| 00244006 | São Luís | -2,883 | -44,350 | 1205,310 | 0,163 | 10 | 0,742 |
| 00244007 | São Luís | -2,533 | -44,300 | 1089,680 | 0,138 | 10 | 0,742 |

Fonte: Campos et al (2015).

- **Tempo de Concentração**

Para o Método Racional, segundo Ven te Chow (1964), o tempo de concentração (t_c) é tempo necessário para que toda bacia hidrográfica contribua para o escoamento superficial no ponto em estudo, e pode ser obtido a partir da fórmula de Kirpich, na qual leva em consideração o comprimento do curso principal e a diferença de cotas da bacia de contribuição (TOMAZ, 2013), como mostrado na Equação 4.

$$t_c = 57 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \quad (4)$$

Onde, L comprimento do curso principal da bacia (km) e Δh é a diferença das cotas da bacia (m).

A equação de Kirpich foi elaborada com bases de estudos de sete bacias agrícolas do Tennessee, com declividade variando entre 3 a 10% e com áreas de no máximo 0,5 km². (PORTO *et al.*, 2006 apud PRUSKI *et al.*, 2010).

- **Período de Retorno (T_r)**

O Período de Retorno é o espaço de tempo em anos para que um evento seja igualado ou superado em menos uma vez nesse período (MARTINS, 2015) e pode ser definido segundo o Quadro 1.

Quadro 1 – Período de retorno

| Tipo de obra | Tipo de ocupação da área | Tr (anos) |
|-----------------------|--|------------------|
| Microdrenagem | Residencial | 2 |
| | Comercial | 5 |
| | Áreas com edifícios de serviços ao público | 5 |
| | Aeroportos | 2 – 5 |
| | Áreas comerciais e arteriais de tráfego | 5 – 10 |
| Macro-drenagem | Áreas residenciais e comerciais | 50 – 100 |
| | Áreas de importância específica | 500 |

Fonte: Martins (2015).

- **Área de Contribuição**

Um importante parâmetro a se determinar para no dimensionamento da rede de drenagem é a área de contribuição, também chamada de área da bacia de contribuição, pois é o espaço que contribui par ao escoamento das águas em um determinado ponto, que é determinada em função da topografia (WATANBE, 2013).

2.4.3 Vazão de Escoamento Superficial

Segundo Moraes (2015), a vazão de escoamento superficial (utilizada para vias e sarjetas) é definida segundo a Equação 5.

$$Q_{esc} = k \cdot \sqrt{i} \quad (5)$$

Onde, Q_{esc} é a vazão de escoamento superficial (m^3/s); K é o coeficiente de simplificação e i declividade da rua (m/m).

O coeficiente de simplificação pode ser obtido segundo a Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficiente de simplificação

| Largura da via (m) | 3,0 | 4,0 | 5,0 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10,0 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| k | 0,539 | 0,718 | 0,898 | 1,077 | 1,257 | 1,436 | 1,616 | 1,759 |

Fonte: Moraes (2015).

E a declividade é obtida segundo a Equação 6.

$$i = \frac{Cota\ maior - Cota\ menor}{Distância} \quad (6)$$

2.4.4 Sarjetas

São elementos principalmente de seção triangular situados nas laterais das ruas, entre a altura da via e faixa de passeio. Para Ramos *et al.* (1999), as águas que descem pelas vias escoarão rapidamente em direção as sarjetas, e em seguida, descem vias a baixo, pois as ruas e avenidas são abauladas, ou seja, possuem uma

declividade transversal que permite esse escoamento. Segundo o mesmo autor, o dimensionamento de uma sarjeta, para obter a sua capacidade hidráulica, leva em consideração duas hipóteses:

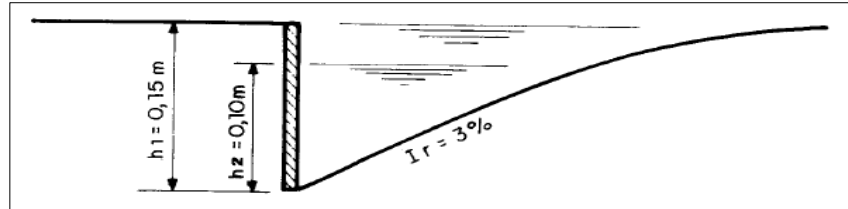
- A água escoando por toda a calha da rua: o que admite uma declividade transversal de 3% da via e altura de água na sarjeta de 0,15m.
- A água escoando somente pelas sarjetas: admitindo-se também uma declividade transversal de 3% da via e altura de água na sarjeta de 0,10m.

Com isso, a vazão máxima que irá escoar na sarjeta pode ser calculada utilizando-se fórmula de Manning, a seguir (Equação 7).

$$Q_m = \frac{1}{n} \cdot R_{hs}^{2/3} \cdot Am \cdot i^{1/2} \quad (7)$$

Onde, Q_m é a vazão máxima (m^3/s); Am é a área de molhado da seção da sarjeta (m^2); R_{hs} é o raio hidráulico da sarjeta (m); i é a declividade longitudinal da via; e n é o coeficiente de Manning, que para concreto liso pode se adotar 0,016.

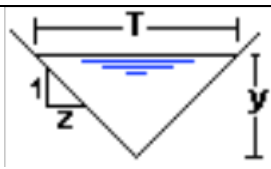
Figura 2 – Seção transversal de uma sarjeta



Fonte: Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo, Ramos et al (1999).

Uma vez que a sarjeta pode admitir diversas formas de seção, para uma seção triangular, o raio hidráulico (R_h) é definido por meio da Equação 8, que depende das Equações 9 e 10 mostrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros de uma seção triangular.

| Forma da seção (Triangular) | Área (m^2) | Perímetro molhado (m) | Raio Hidráulico (m) | Largura Superficial (m) |
|---|----------------------|--|---|-------------------------|
|  | $z \cdot y^2$ (9) | $2 \cdot y \cdot \sqrt{1 + z^2}$ (10) | $\frac{z \cdot y}{2 \cdot \sqrt{1 + z^2}}$ (8) | $2 \cdot z \cdot y$ |

Fonte: Pereira & Mello (2018).

Segundo Lamego (2017), o raio hidráulico (Rh_s) pode ser obtido segundo a Equação 11.

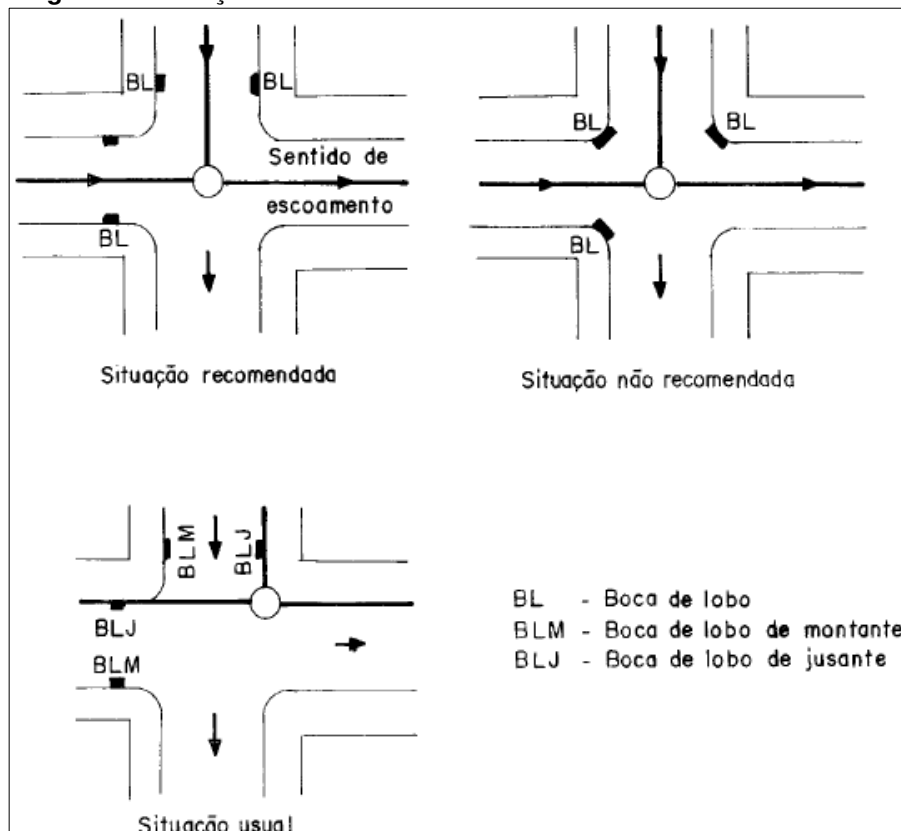
$$Rh_s = \frac{Am}{Pm} \quad (11)$$

Onde, Am é área de molhado da seção transversal da sarjeta e Pm é o perímetro de molhado da seção transversal da sarjeta.

2.4.5 Bocas de lobo

As bocas de lobos são elementos destinados a receber as águas superficiais que escoam pelas vias e sarjetas. São dispositivos essenciais na rede de drenagem, pois é neles que a água escoar diretamente para os demais condutos. Devem ser dispostos estrategicamente, em pontos que garantam a captação da água e para isso é de suma importância que seja adequadamente alocado numa bacia hidrográfica. Segundo Ramos *et al.* (1999), na locação das bocas de lobos, é importante levar em consideração as seguintes orientações:

- Devem ser locadas em ambos os lados da rua quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de engolimento;
- Terão que ser locadas nas cotas mais baixas da região;
- Se não for analisada a capacidade de descarga da sarjeta, aconselha-se a instalar as bocas de lobos adotando um espaçamento máximo de 60 metro entre elas;
- A opção mais viável para instalação das bocas de lobo é que seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- Evitar a localização das bocas de lobos junto ao vértice do ângulo de interseção das sarjetas de ruas convergentes, devido aos seguintes motivos: os pedestres teriam que saltar o fluxo de água num trecho de máxima vazão superficial e as torrentes convergentes pelas diferentes sarjetas teriam como resultante um escoamento com fluxo contrário ao da afluência para o interior da boca de lobo.

Figura 3 – Localização das bocas de lobos

Fonte: Ramos *et al.* (1999)

A Figura 3 representa o esquema de alocação das bocas de lobos em uma determinada região, ilustrando as situações recomendadas e não recomendadas de sua instalação.

- **Determinação da Quantidade de Bocas de Lobo**

É importante para todo projeto de rede de drenagem não somente saber onde locar e dispor as bocas de lobo, mas também obter a quantidade necessária e suficiente para atender a demanda da região inundada. Um número insuficiente do elemento conseqüentemente acarretará o problema, uma vez que a quantidade não irá atender a vazão que contribui naquele ponto, assim como uma quantidade superior a necessária pode superfaturar o projeto e conseqüentemente a obra do sistema de drenagem. Portanto, Moraes (2015), mostra que a quantidade dos dispositivos pode ser definida segundo a Equação 12.

$$N_{dispos.} = \frac{Q_{contrib.}}{Q_{dispos.}} \quad (12)$$

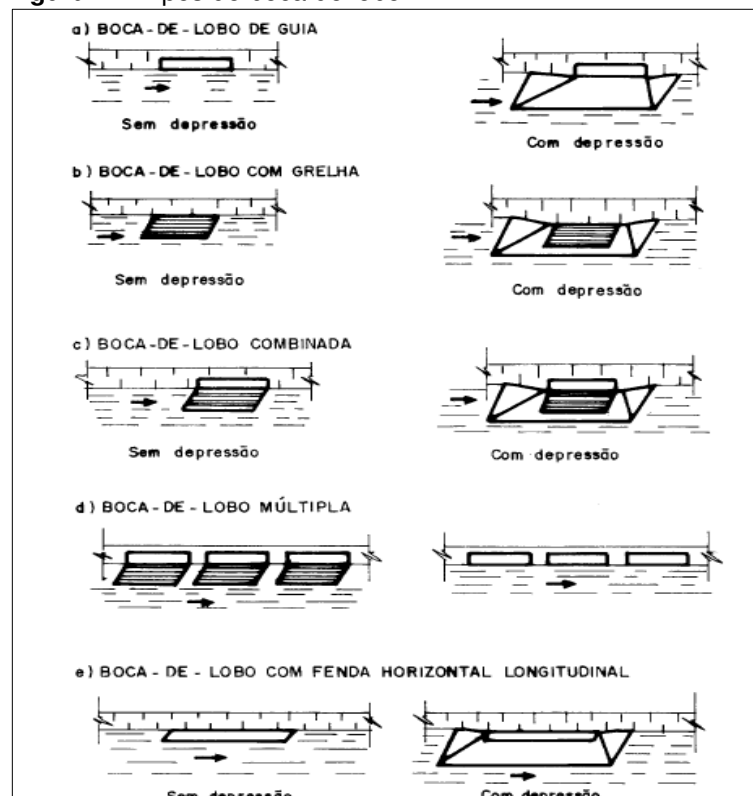
Onde, $N_{dispos.}$ é o número de dispositivos; $Q_{contrib.}$ é a vazão da área de contribuição (m^3/s) e $Q_{dispos.}$ é a vazão de capacidade do dispositivo (m^3/s).

Para Botelho (2011) a vazão de capacidade do dispositivo é chamada como vazão de engolimento de uma boca de lobo, ou seja, é a vazão suportada por cada tipo de boca de lobo que compõe o sistema de drenagem, na qual varia entre 40 a 60l/s.

- **Tipos de Boca de Lobo**

A determinação do tipo de boca de lobo a ser utilizada na composição do sistema de drenagem é uma etapa muito importante que irá influenciar diretamente na eficiência do mesmo para o problema presente de um determinado lugar, onde deve se analisar diversos fatores físicos e hidráulicos para a sua escolha, tais como ponto de localização, vazão de projeto, declividade transversal e longitudinal da sarjeta e da rua, interferência no tráfego e possibilidades de obstruções (HIROSHI, 2003). Na engenharia, os principais tipos de boca de lobo que compõe as redes de drenagem são as mostradas na Figura 4 abaixo.

Figura 4 – Tipos de boca de lobo



Fonte: Ramos *et al.* (1999).

- **Capacidade de Engolimento**

A capacidade de engolimento é definida como sendo o momento em que a água acumulada sobre a boca de lobo, produz uma lâmina com altura menor do que a abertura da guia (TOMAZ, 2013). Uma vez que a boca de lobo do tipo guia sem depressão pode ser considerada um vertedor, sua vazão de engolimento poderá ser calculada segundo a Equação 13.

$$Q_{guia} = 1,7 \cdot L_b \cdot (H_b)^{\frac{3}{2}} \quad (13)$$

Onde, Q_{guia} é a vazão de engolimento (m³/s); H_b é a altura da água próxima à abertura na guia (m) e L_b o comprimento da soleira (m).

Um tipo muito utilizado de boca de lobo são as do tipo grelha, nas quais possuem um formato retangular e são acopladas na superfície das vias, que segundo Tomaz (2013) *apud* Chin (2012) operam como um vertedor de soleira livre possuindo o fundo da lâmina de até 12cm, e sua vazão pode ser obtida segundo a Equação 14.

$$Q_{grelha} = 1,66 \cdot P \cdot H_b^{1,5} \quad (14)$$

Onde Q_{grelha} é a vazão de engolimento da grelha (m³/s); P é o perímetro da boca de lobo (m) e H_b é a altura de água na sarjeta sobre a grelha (m).

Figura 5 – Boca de lobo tipo grelha



Fonte: Nakamura (2011).

A Figura 5 acima representa a boca de lobo tipo grelha, na qual é fixa na superfície do pavimento ou na sarjeta próximo a via.

2.4.6 Tubos de Ligação

O tubo de ligação ou ramais de ligações, compõe uma das etapas finais do sistema de drenagem, pois já faz parte do sistema enterrado da rede, e tem a função de transportar as águas captadas pelas bocas de lobo para as galerias ou poços de visitas (RAMOS *et al.*, 1999). Segundo Tomaz (2013), no Brasil, não há critério estabelecido para o dimensionamento do diâmetro mínimo dos tubos de ligação, o que se adota como parâmetro é uma declividade mínima de 1%, e no mais, seus dimensionamentos são adotados pelo órgão municipal responsável pelas obras de drenagem. Já para Moraes (2015), os ramais de ligação devem admitir diâmetro mínimo de 500mm e ter como tipo de material em concreto armado. Enquanto que para Hiroshi (2003), os tubos de ligação, que partem das bocas de lobos para alimentar as galerias, podem terminar em poço de visita, caixa de ligação ou até mesmo outro tubo de conexão, não devem ter diâmetro inferior a 300mm e declividade inferior a 1%, o que permite escoar uma vazão aproximadamente de 80l/s pelo tubo.

Para uma elaboração mais precisa e que garanta uma maior eficiência do sistema de drenagem, o dimensionamento do tubo de ligação pode ser feito segundo Botelho (2011), onde afirma que o diâmetro do tubo de ligação normalmente é de 300mm e de concreto simples, porém para prevenir entupimentos por conta de detritos que são destinados para as bocas de lobos, é usado tubos com diâmetro de 400mm. Botelho (2011) também afirma que quando se tem várias bocas de lobo associadas, recomenda-se a ligação entre elas e desse conjunto de bocas de lobos, utilizar-se-á uma tubulação de 400mm, ou até mesmo 600mm, até o poço de visita. Portanto, é possível se estabelecer uma relação que representa os possíveis diâmetros a serem usados dos tubos de ligação, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Diâmetro do tubo de ligação

| Número de bocas de lobo a esgotar | Diâmetro do tubo de ligação (mm) |
|--|---|
| 1 | 300 |
| 2 | 400 |
| 3 | 600 |

Fonte: Botelho (2011).

2.4.7 Poço de Visita (P.V.)

Os poços de visita são elementos localizados em pontos adequados da rede de galerias com a finalidade de permitir as mudanças de direção, declividade, diâmetro e a inspeção e limpeza das canalizações, mas possuem como principal função a permissão do acesso as canalizações para realização limpeza e inspeção, com o objetivo de garantir um bom estado de funcionamento das mesmas (Ramos *et al*, 1999). Segundo a Norma Técnica da Sabesp – NTS – 025, de julho de 2006, poço de visita é denominada como uma câmara visitável por meio de abertura existente na sua parte superior, designado à execução de tarefas de manutenção e inspeção (BRASIL, 2006).

O dimensionamento dos P.V.s é realizado de maneira empírica, nos quais são locados de modo à atenderem normas para seu funcionamento. Segundo Ramos *et al* (1999), o espaçamento máximo de um poço de visita a outro é concebido de acordo com o diâmetro ou altura do conduto principal, como mostrado no Quadro 3.

Quadro 3 – Espaçamento dos poços de visita

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

Fonte: Ramos et al (1999).

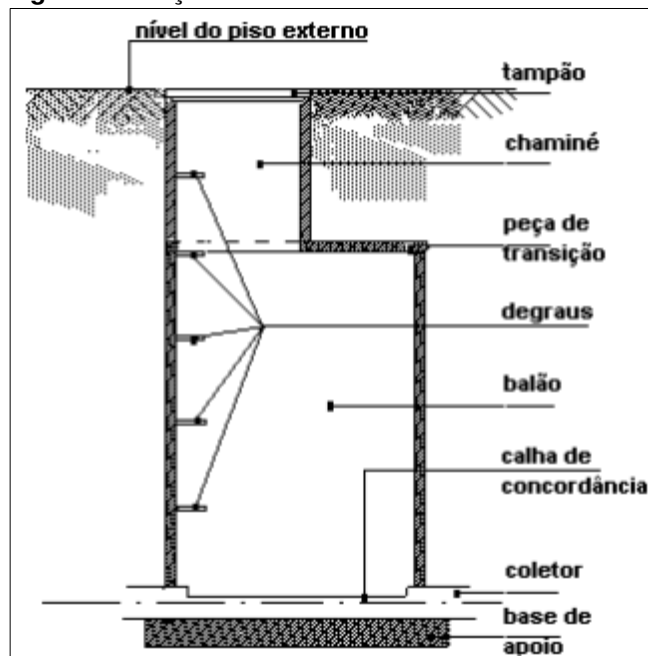
Para Botelho (2011), os P.V.s podem ser instalados também em cruzamentos de ruas, quando a galeria tem o diâmetro de um de seus tubos aumentado, quando ocorre mudança de direção da galeria, a montante da rede e em trechos muito longos de galeria sem inspeção. Além disso, em um projeto de rede de drenagem é aconselhável não exagerar no número de P.V.s, uma vez que é um elemento de alto custo de execução. Botelho (2011), também apresenta valores de altura e diâmetro que auxiliam no dimensionamento, como mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 – Variação da dimensão A em função do maior diâmetro D

| D (mm) | A (mm) | D (mm) | A (mm) |
|--------|---------------|--------|--------|
| | 1,20 (mínimo) | 900 | 1,70 |
| 600 | 1,40 | 1000 | 1,80 |
| 700 | 1,50 | 1200 | 2,00 |
| 800 | 1,60 | 1500 | 2,30 |

Fonte: Botelho (2011).

Na Figura 6, é mostrado um modelo de poço de visita adotado por Tomaz (2010), onde é possível observar alguns dos elementos que o compõe.

Figura 6 – Poço de visita

Fonte: Tomaz (2010).

2.4.8 Galeria de Águas Pluviais (Conduto Principal)

A Galeria de Água Pluvial (GAP) é o elemento hidráulico mais importante de toda rede de drenagem, uma vez que ele é o responsável por conduzir a água captada para o seu destino final, ou seja, é a tubulação que capta a água do tubo de ligação e a conduz por uma grande extensão até o emissário final (RAMOS *et al.*, 1999). Para Botelho (2011), diferente dos parâmetros do tubo de ligação, nos quais seguem de acordo com os problemas operacionais de limpeza, a canalização principal, ou seja, a galeria de água pluvial, devem seguir os seguintes critérios de dimensionamento:

1. Em seções circulares, admite-se que eles possam trabalhar até a seção plena;
2. O diâmetro mínimo da canalização principal deve ser de 400mm (em algumas cidades adota-se 600mm), e no máximo de 1500mm;
3. O autor sugere que os recobrimentos mínimos dos tubos serão de acordo com a Quadro 5.

Quadro 5 – Recobrimento mínimo dos tubos GAP

| Diâmetro dos Tubos (mm) | Recobrimento Mínimo (h) (m) |
|--------------------------------|------------------------------------|
| Concreto Simples | 0,6 |
| Concreto Armado | |
| Ø 700 | 0,7 |
| Ø 800 | 1 |
| Ø 1000 | 1 |
| Ø 1200 | 1,2 |
| Ø 1500 | 1,5 |

Fonte: Botelho (2011).

4. Os tubos com diâmetro superiores a 600mm deverão ser em concreto armado;
5. Os limites de velocidade da água nas galerias de água pluvial deverão estar entre 0,7m/s e 5m/s.
6. As declividades mínimas dos tubos de acordo com o seu diâmetro, são mostradas no Quadro 6.

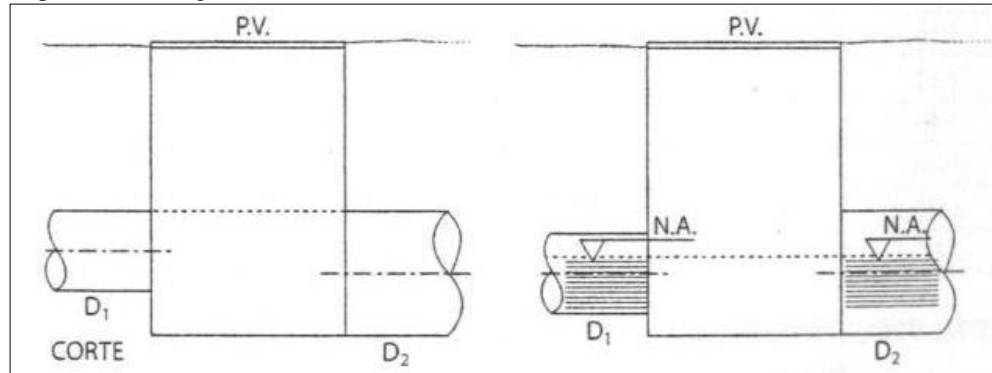
Quadro 6 – Declividade dos tubos

| Ø (mm) | Declividade Mínima (m/m) |
|---------------|---------------------------------|
| 300 | 0,0030 |
| 350 | 0,0023 |
| 400 | 0,0019 |
| 500 | 0,0014 |
| 600 | 0,0011 |
| 700 | 0,0009 |
| 800 | 0,0007 |
| 900 | 0,0006 |
| 1000 | 0,0005 |
| 1200 | 0,0004 |

Fonte: Netto apud Botelho (2011).

7. O cálculo hidráulico das galerias, seja ela retangular ou circulares, será feito no regime uniforme;
8. Quando os tubos chegam nos poços de visita, deve-se adotar o critério de coincidência de geratriz superior dos tubos ou a coincidência do nível de água, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Chegada dos tubos no P.V.



Fonte: Botelho (2011).

9. Para galerias retangulares, deve-se adotar os seguintes critérios: dimensões do retângulo (Largura [A] x Altura [B]); Largura maior que Altura e a altura (h) máxima de água deve ser menor que 90% da Altura B da galeria;
10. Visando uma construção econômica de toda rede pluvial, aconselha-se fazer ela a mais rasa possível, uma vez que além de minimizar os trabalhos e custos com manutenção, economizam também no volume de escavação, reposição e compactação de solo, caros escoramentos de valas e caros rebaixamentos do lençol freático.

Uma vez que considerarmos a galeria de água pluvial o sistema principal de toda rede de drenagem, além de se estabelecer todos os parâmetros para a elaboração do projeto e conseqüentemente a construção da rede, é necessário que se obtenha o dimensionamento hidráulico do conduto. Um dos métodos de dimensionamento é por meio do “Roteiro para o Projeto de Galerias Pluviais de Seção Circular”, usado pela Prefeitura do Rio de Janeiro e demais localidades do país elaborado pelo Eng.^o Ulisses M. A. de Alcântara, na qual foi publicada em 1962 na Revista de Engenharia Sanitária da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária (DUARTE *et al.*, 2010, p.18). Uma vez que o dimensionamento do conduto principal é feito por trechos, pois existe a presença de poços de visita entre eles, os dados do dimensionamento a partir do roteiro podem ser preenchidos em uma planilha de cálculo, para uma melhor organização e controle do projeto, na qual é mostrada na Figura 8.

Figura 8 – Planilha para dimensionamento de Galeria de Águas Pluviais

| POÇO DE VISITA | | | DEFLUVIO A ESCOAR | | | | | | GALERIA | | | | | | |
|----------------|---------------|-------|-------------------|-------------|--------------|----------------------|-------------|--------------|---------|--------|---------|---|--------|----------|----|
| Nº | COTAS DO POÇO | | RECOB. | BACIA LOCAL | | CONTRIBUIÇÃO PARCIAL | | | TRECHO | EXTEN. | DECLIV. | Ø | ENCHI. | V (m/s²) | Tp |
| | TERRENO | FUNDO | | ÁREA | COEF. IMPERM | ÁREA TOTAL | TEMPO CONC. | INTENS. PLUV | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT) – Adaptada pelo autor.

- **Declividade**

A declividade representa a razão entre a diferença entre as cotas de montante e jusante nas tampas dos poços de visitas com o trecho da galeria entre os poços de visita, como mostrada na Equação 15.

$$St = \frac{Cm - Cj}{L} \quad (15)$$

Onde, *St* é a declividade do terreno no trecho (m); *Cm* é a cota do terreno no PV a montante (m); *Cj* é a cota do terreno no PV a jusante (m) e *L* é a extensão da galeria (m).

- **Cota Inferior da Galeria a Montante**

A cota inferior da galeria a montante ou também a cota do fundo do poço de visita, pode ser determinada por meio da subtração da cota do terreno com o somatório do recobrimento mínimo mais o diâmetro da galeria no trecho, como mostrado na Equação 16.

$$Cim = Cm - (Rm + D) \quad (16)$$

Onde, *Cim* é a cota inferior da galeria a montante (m); *Cm* é a cota do terreno (m); *Rm* é o recobrimento mínimo (m) e *D* é o diâmetro da galeria (m).

- **Cota Inferior da Galeria a Jusante**

A cota inferior da galeria a montante ou também a cota do fundo do poço de visita a jusante, pode ser definida pela Equação 17.

$$C_{ij} = C_{im} - (Sg \times L) \quad (17)$$

Onde, C_{ij} é a cota inferior da galeria a jusante (m); C_{im} é a cota inferior da galeria a montante (m) e L é a extensão do trecho da galeria (m).

O valor Sg pode ser obtido pela Equação 18.

$$Sg = \frac{C_{im} - C_{ij}}{L} \quad (18)$$

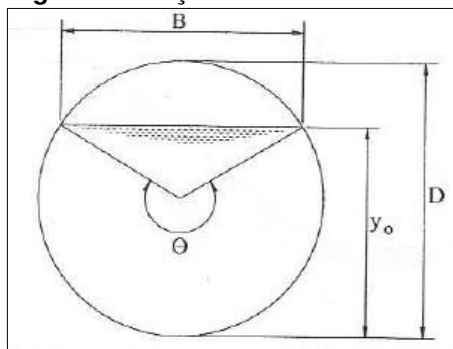
- **Relação Altura – Diâmetro**

A altura da lâmina d'água em relação ao diâmetro do tubo, intitulada pelo Gontijo *et al.* (2006) de enchimento, e segundo Paula (2013) pode ser obtida através da Equação 19.

$$\frac{h}{D} = \frac{1}{2} \left[1 - \cos \left(\frac{\theta}{2} \right) \right] \quad (19)$$

Segundo Porto (2006), as galerias de águas pluviais funcionam como um canal em regime uniforme, de acordo com o perfil esquemático mostrado na Figura 9.

Figura 9 – Seção Circular



Fonte: Porto (2006).

Em que o valor de θ , que é o ângulo central do conduto em radianos, e B_c , que é a largura da lâmina livre em metros, são obtidos, respectivamente, segundo as Equações 20 e 21.

$$\theta = 2 \arccos \left(1 - \frac{2y_o}{D} \right) \quad (20)$$

$$B = D \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \quad (21)$$

Onde y_o equivale à altura de lâmina d'água, em metros, apresentada na Equação 19.

- **Área Molhada**

A determinação da área molhada é obtida segundo a Equação 22, em função do ângulo central e do diâmetro da galeria no trecho.

$$Am_c = D^2 \frac{(\theta - \operatorname{sen} \theta)}{8} \quad (22)$$

- **Raio Hidráulico**

O raio hidráulico que possui a galeria de água pluvial, é obtido segundo a Equação 23.

$$R_h = \frac{D \left(1 - \frac{\operatorname{sen} \theta}{\theta} \right)}{4} \quad (23)$$

- **Vazão no Conduto Principal**

A vazão que passa no conduto principal pode ser obtida a partir da equação de Manning, como mostrado na Equação 24.

$$Q_c = \frac{1}{n} \cdot R_h^{2/3} \cdot Am_c \cdot i^{1/2} \quad (24)$$

Onde, Q_c é a vazão a escoar na tubulação (m³/s); R_h é o raio hidráulico (m); Am_c é a área de molhado (m²); i é a declividade da via e n é o coeficiente de Manning (adimensional), no qual pode ser obtido segundo o Quadro 7.

Quadro 7 – Valores do coeficiente de Manning (n) para tubo de concreto

| Natureza do Material | Condições | | | |
|----------------------|------------|-------|-----------|-------|
| | Muito Boas | Boas | Regulares | Más |
| Tubos de concreto | 0,012 | 0,013 | 0,015 | 0,016 |

Fonte: Porto (2006).

- **Velocidade do Escoamento**

De posse da vazão Q_c no trecho em análise e da sua área molhada Am_c , o valor da velocidade do escoamento na galeria pode ser obtido segundo a Equação 25.

$$V = \frac{Q_c}{Am_c} \quad (25)$$

Onde, V é a velocidade do escoamento (m/s); Q_c é a vazão total (m³/s) e Am_c é a área molhada (m²).

- **Tempo de Percorso**

Por fim, pode-se obter o tempo de percurso do escoamento no trecho, pode ser obtido segundo a Equação 26.

$$tp = \frac{L}{V \times 60} \quad (26)$$

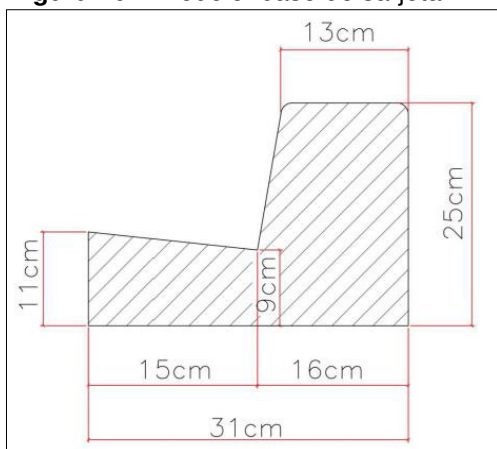
Onde. tp é o tempo de percurso (min); L é a extensão da galeria (m) e V é a velocidade do escoamento (m/s).

2.5 Modelo Base para Elaboração do Projeto de Drenagem

2.5.1 Sarjeta

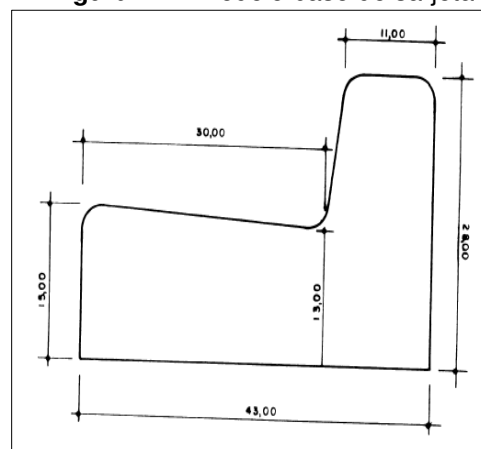
As padronizações das dimensões mínimas das sarjetas são baseadas nas diretrizes de projetos de drenagem elaboradas por órgãos estaduais e/ou municipais responsáveis pela execução de obras de microdrenagem. Tomou-se como base os manuais da Secretária do Planejamento Estratégico do município de Toledo, Estado do Paraná e da Prefeitura Municipal de Pitangueiras, Estado de São Paulo, como mostrado nas Figuras 10 e 11.

Figura 10 – Modelo base de sarjeta 1



Fonte: SEPE – Paraná (2017).

Figura 11 – Modelo base de sarjeta 2



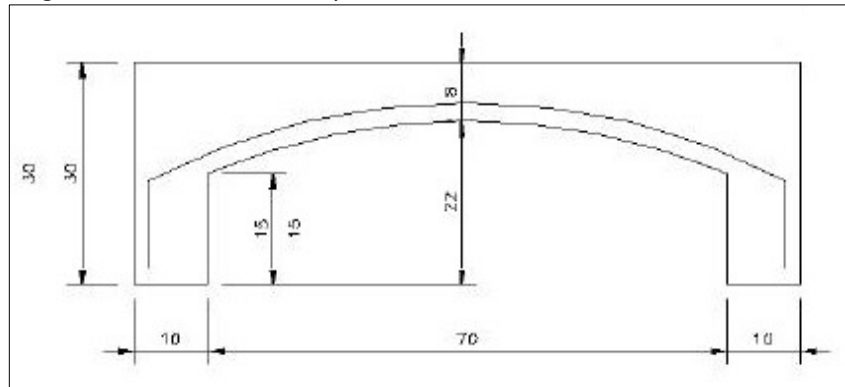
Fonte: Prefeitura de Pitangueiras (2012).

2.5.2 Bocas de Lobo

Para o dimensionamento das bocas de lobos, adotar-se-á o tipo padrão de guia sem depressão ou com depressão, levando em consideração as medidas mínimas da altura da água na abertura e o comprimento da soleira ou da abertura da boca de lobo. Para a elaboração do modelo a ser para implantação no ponto analisado, tomou-se como base a boca de lobo adotada pela Companhia Estadual de Habitação e Obras

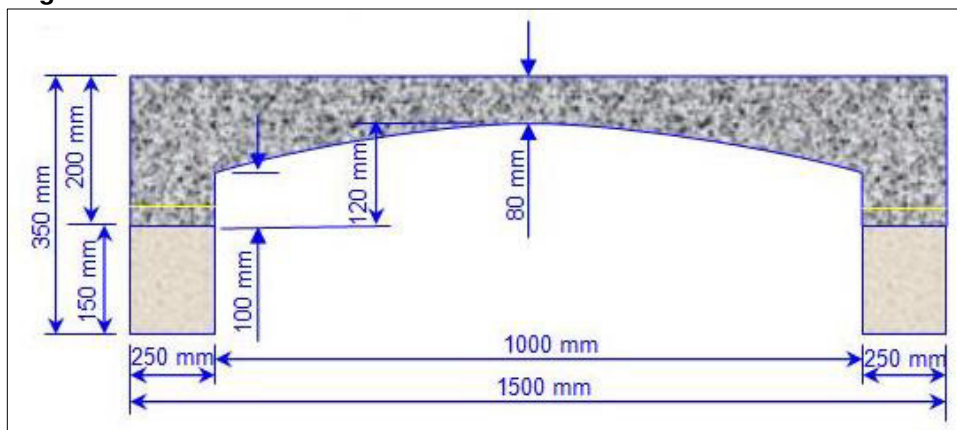
Públicas (CEHOP) do estado Sergipe e o modelo segundo Watanabe (2009), como mostrado nas Figuras 12 e 13, respectivamente.

Figura 12 – Modelo adota pela CEHOP – medidas em cm



Fonte: CEHOP (2018).

Figura 13 – Modelo de boca de lobo



Fonte: Watanabe (2009).

2.6 Especificações Construtivas de um Sistema de Drenagem Urbana

Toda e qualquer obra de engenharia deve ser realizada a partir de um projeto, e para que a mesma seja dita como de qualidade, não deve haver somente um eficiente projeto, assim como também deve haver um rigoroso sistema de controle, gerenciamento e organização na etapa de execução dessa obra. Portanto Alves (2013) afirma que todas as obras deverão ser executadas rigorosamente de acordo com os projetos básicos e os demais projetos apresentados pelo contratante, tendo como base todos os detalhes presentes no memorial e demais memoriais específicos por meio das técnicas da ABNT, outras normas utilizadas e/ou normas municipais, estaduais ou federais vigentes.

Para isso, toma-se como base teórica as instruções apresentadas por Botelho (2011) em seu livro “Águas de Chuva: Engenharia das águas pluviais nas cidades”.

2.6.1 Localização da Obra

- **Topografia da Obra**

Segundo Botelho (2011) a primeira etapa para o início das obras é a topografia, uma vez que será necessário a verificação exata das locações, ou seja, detectar e conferir os pontos baixos onde serão instalados os elementos hidráulicos que irão captar as águas pluviais e apresenta as seguintes diretrizes topográficas a serem seguidas na etapa de topografia:

- 1) Deve-se estaquear a linha de passagem dos coletores de 20 em 20m;
- 2) Deve ser efetuado o desenho do perfil da tubulação mostrando as interferências encontradas;
- 3) Ao logo do coletor deverá ser deixada a Referência de Nível (RN) auxiliares de 200 em 200m, em locais de fácil visibilidade e difícil danificação.

2.6.2 Abertura da Vala

Para a abertura de valas que receberão a instalação dos tubos da rede de galeria de águas pluviais, Botelho (2011, p. 88), apresenta as seguintes especificações:

- 1) Deve ser feita de forma que garanta a regularidade do fundo, compatível com o alinhamento da tubulação projetada;
- 2) A largura da vala será igual ao diâmetro do tubo, com um acréscimo de 0,6 m para diâmetro até 0,4m e de 0,8m para diâmetros superiores a 0,4m. Tal acréscimo é usado para valas com profundidade até 2m, enquanto que para profundidades maiores, cada metro ou fração é acrescentado mais 0,1-m na profundidade da vala;
- 3) Na etapa de abertura da vala, deverão ser feitas todas as proteções nos outros serviços públicos enterrados e de edificações próximas que podem ser danificadas com o serviço ou rebaixamento do lençol freático.

A escavação da vala deverá ser realizada na retirada de todo o material da área demarcada, na qual pode ser mecanizada ou manual, e quando feita manualmente deve-se realizar os acertos de fundo de vala e retirada de materiais ou obstáculos subterrâneos (DIDOMENICO *et al.*, 2015).

2.6.3 Escoramento da Vala

O escoramento é uma atividade importante na etapa de escavação da vala, pois é realizada para proteger a integridade dos operadores que ali estarão presente e que deve ser feita de maneira rigorosa e segura (NAKAMURA, 2014). Segundo Botelho (2011), o escoramento da vala é uma atividade peculiar ao tipo de escavação no que diz respeito a sua largura, profundidade, localização do lençol freático e geologia da região.

Entre as técnicas mais utilizadas de escoramento de vala estão as de escoramento com prancha metálicas e a utilização de módulos pré-fabricados (blindagem de valas), em que a primeira consiste em um escoramento com perfis de aço laminado com encaixes longitudinais e a segunda é realizada com módulos constituídos com duas paredes metálicas ligadas entre si por estroncas, responsável por manter o sistema rígido (NAKAMURA, 2014).

2.6.4 Esgotamento da Vala

No momento em que a escavação da vala atingir o lençol freático, a mesma deverá ser drenada para prosseguir com sua escavação, com isso, as maneiras de realizar o dreno da água presente na vala pode ser por: bombas, ponteiros drenantes ou outro processo apresentado pela empresa construtora e aprovado pelo órgão fiscalizador. (BOTELHO, 2011). Outro método utilizado para esgotamento das valas de assentamento dos tubos que irão compor o sistema, consiste na aplicação de um conjunto de elementos, composto por redes de drenos, poços filtrantes de bombeamento, caixas de passagem, leitos drenantes, bombas de recalque e canaletas superficiais, nos quais trabalham em conjunto possibilitando a execução da obra sem a interferência da água (ALBRECHT, 2008).

2.6.5 Execução do Lastro dos Tubos

O lastro dos tubos que irão conduzir as águas pluviais é uma etapa muito importante para a qualidade de toda rede de drenagem, uma vez que o lastro irá proteger os tubos responsável por tal condução de impactos, demolições e outras

atividades que coloquem em risco o seu funcionamento e sua execução poderá ser feita mediante as seguintes diretrizes (BOTELHO, 2011, p. 93):

- 1) Deverá ser executado com brita, areia ou pó de pedra ou até mesmo em concreto magro ou concreto armado sobre estacas;
- 2) Quando for feito lastro de pedra, o mesmo deve ser feito de pedras tamanho 4 ou 5 bem compactadas e com largura igual à largura da tubulação, mais 0,4 m e espessura de 0 cm após feita a compactação;
- 3) Quando feito em concreto magro sobre lastro de pedras, o mesmo deve ter teor mínimo de 150 kg de cimento por metro cúbico de concreto;
- 4) Em todos os casos, o lastro deverá ser apilotado até uma boa arrumação de pedras, e preenchendo os vazios com pó de pedra ou areia fina.

Segundo a NBR 12266 de abril de 1992, o projeto de drenagem deve indicar o preparo mais adequado a ser utilizado no fundo da vala, no qual pode ser feito com o acerto do solo natural, substituição de solo, lastro de material granular, laje de concreto simples ou armado e estanqueamento (BRASIL, 1992).

2.6.6 Poços de Visita (P.V.)

Segundo Botelho (2011, p. 95), para que os poços de visita garantam a sua funcionalidade, o mesmo deve ser construído de acordo com as seguintes especificações técnicas:

- 1) As paredes dos P.V.s deverão ser de alvenaria de tijolos assentes com argamassa de cimento e areia, no traço de 1:3, e revestido na sua parte interna com a mesma argamassa na espessura de 2 cm;
- 2) A laje inferior deverá ser executada sobre camadas de brita e concreto magro, nos quais devem estar regularizados;
- 3) As “chaminés do poço de visita” (parte situada acima, próxima à abertura do P.V.) deverão ser circulares, com 0,70 m de diâmetro interno, em alvenaria de tijolos, de espessura de 1 tijolo e assentes com argamassas de cimento e areia no traço de 1:3;
- 4) Toda parte interna do P.V. será revestida com a argamassa de cimento e areia no traço de 1:3.

2.6.7 Argamassa de Uso Geral

Para o preparo da argamassa utilizada nos elementos hidráulicos, as de enchimento de juntas e revestimentos em geral deverão ser preparadas em masseiras, em um local revestido, evitando dessa forma a sua preparação diretamente no solo e as especificações do cimento e areia devem obedecerem às

normas da ABNT e a água para mistura da argamassa deverá se oriunda do sistema público de distribuição (BOTELHO, 2011).

2.6.8 Alvenaria de Tijolos ou Blocos de Concreto

Na etapa antes do assentamento dos tijolos ou blocos de concreto e da aplicação da argamassa, Botelho (2011) afirma que os mesmos devem ser umedecidos. O assentamento deverá ser realizado com argamassa de cimento e areia no traço de 1:3, em que pode ser utilizada argamassa pré-misturada, a critério da fiscalização, e para garantir uma boa aderência entre o tijolo e a superfície de concreto deverá ser aplicado chapisco de cimento e areia na alvenaria (BOTELHO, 2011).

2.6.9 Concreto

Para Botelho (2011) o concreto a ser utilizado na obra de da rede de drenagem de águas pluviais deve obedecer ao FCK (Resistência Característica do Concreto à Compressão) e demais características estabelecidas no projeto e o seu modo de preparo deve atender a NBR 6118 de março de 2004, da qual se trata do “Projeto de estruturas de concreto – procedimentos”.

2.6.10 Reaterro da Vala

Após a instalação da tubulação e a verificação do seu funcionamento a partir de testes hidráulicos, deverá ser feito o reaterro da vala, e para isso Botelho (2011, p. 96) apresentar as seguintes especificações construtivas de tal atividade:

- 1) O reaterro será feito com camadas de 30 cm de espessura bem compactadas por meio de um equipamento mecânico;
- 2) Até a altura de 30 cm acima da geratriz superior do tubo, o material do reaterro deve ser escolhido e deve se evitar o uso de material com pedras e terra vegetal, dando prioridade a solos argilosos;
- 3) Deve-se buscar um grau de compactação de 95% por meio do controle da umidade do material com o objetivo de obter uma umidade ótima do material;
- 4) Quando houver umidade excessiva na camada de terra a mesma deverá ser escarificada com o objetivo de reduzir a sua umidade.

Vale ressaltar que os projetos e conseqüentemente as especificações construtivas das obras de drenagem dependem muito do contexto de cada região,

pois existem inúmeras variáveis que influenciam no seu método, como é afirmado por Gerolla (2011), que o projeto de drenagem das águas pluviais é elaborado em função do percentual final de impermeabilização do solo, no qual está diretamente ligado precipitação média de chuva da região.

Não há uma série de normas que padronize as obras de drenagem urbana no Brasil, o que se encontra e são parâmetros de acordo com as práticas desenvolvidas pela engenharia, como por exemplo dimensões de valas, bocas de lobos ou até mesmo poços de visita, além de ser obtido também padrões próprios adotados por prefeituras, por meio de manuais para elaborações de projetos e execução de obras de drenagem (GEROLLA, 2011).

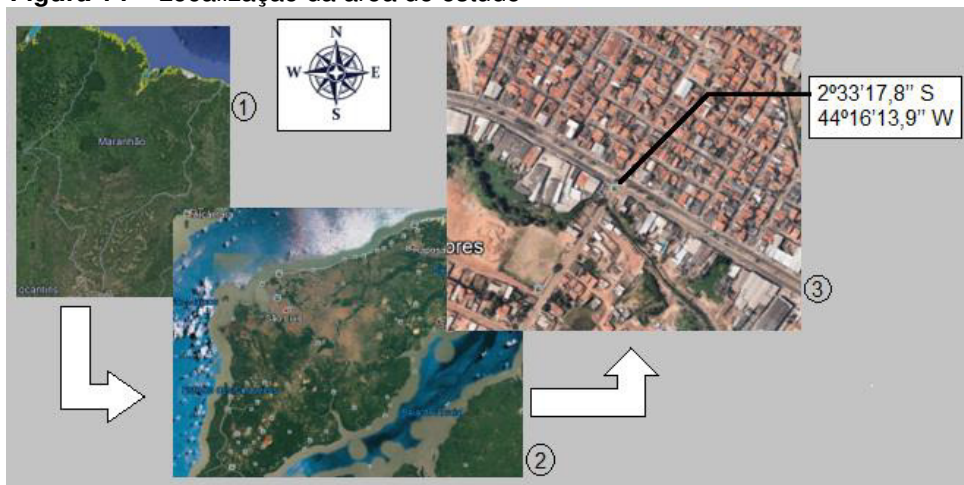
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

A cidade de São Luís possui inúmeras áreas de alagamento que assolam a cidade por longos anos. Dentre estas, tem-se uma das principais localizada na Avenida dos Africanos, no cruzamento entre os bairros do Coroadó e Parque Timbiras. À Avenida dos Africanos, conhecida outrora como Avenida Presidente Médici, é uma importante via de ligação entre demais bairro com a região central da cidade e à área Itaqui Bacanga.

Na Figura 14 é mostrado a localização da região inundada por meio de imagens, na qual contem na imagem 1 o estado do Maranhão, na imagem 2 a cidade de São Luís e na 3 a área de estudo, com sua referência espacial.

Figura 14 – Localização da área de estudo



Fonte: Google Mapas (2018).

3.2 Desenvolvimento do Estudo

O trabalho foi desenvolvido por meio de um estudo de caso, para análise do problema de drenagem urbana situado em tal avenida. A falta do mecanismo que garante o escoamento da água naquele local causa grandes transtornos à população daquela região por mais de 20 anos.

O estudo ocorreu a partir de visitas realizadas na região onde inicialmente foi visualizado os problemas encontrados e feito os registros fotográficos da área de estudo.

3.3 Execução do Geoprocessamento

O geoprocessamento usado no presente trabalho foi feito a partir da realização de visitas *in loco*, uso de aparelhos, obtenção de plantas em órgãos públicos e o uso de programas computacionais. Tal etapa foi desenvolvida para obter a delimitação das duas bacias hidrográficas que contribuem para o ponto de inundação em estudo.

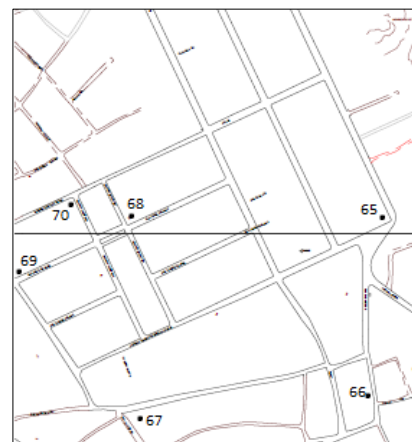
Inicialmente adquiriu-se a planta topográfica (no formato DXF) da região em análise por meio do Técnico em Edificações Jorge Hudson Holanda, lotado no setor Gerência de Projetos, subsetor Coordenadoria de Preços e Custos, da Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA. Tal planta topográfica, para que pudesse ser utilizada no geoprocessamento, teve que ser georreferenciada, e para isso foi realizada uma visita *in loco* com o aparelho de GPS e se obteve a localização de 40 pontos distribuídos em toda área, situados principalmente nos cruzamentos das ruas dos bairros Coroado e Parque Timbiras e da Avenida dos Africanos, como mostrado alguns na Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Pontos de georreferência



Fonte: Autor (2018).

Figura 16 – Pontos para georreferência



Fonte: Autor (2018).

A Figura 15 representa os pontos levantados na região do bairro Coroado, onde se encontra a Bacia Hidrográfica 01. A Figura 16 é indicada a localização de alguns pontos levantados na região do bairro Parque Timbiras, onde se encontra a Bacia Hidrográfica 02.

A localização dos pontos foi disposta em uma planilha (Figura 17) e depois transformadas em pontos geográficos.

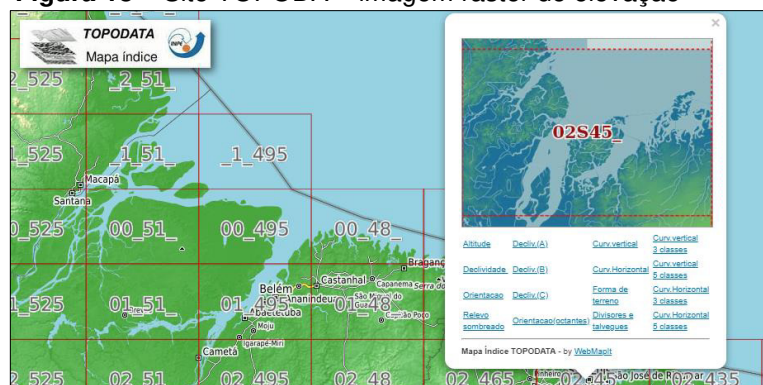
Figura 17 – Pontos disposto na planilha

| 4 | PONTO | LOCALIZAÇÃO |
|----|-------|--------------------------|
| 5 | 28 | 23 M 0581108 UTM 9717595 |
| 6 | 29 | 23 M 0581099 UTM 9717598 |
| 7 | 30 | 23 M 0581132 UTM 9717633 |
| 8 | 31 | 23 M 0581127 UTM 9717642 |
| 9 | 32 | 23 M 0581045 UTM 9717688 |
| 10 | 33 | 23 M 0581017 UTM 9717645 |
| 11 | 34 | 23 M 0580978 UTM 9717667 |
| 12 | 35 | 23 M 0581000 UTM 9717716 |
| 13 | 36 | 23 M 0580976 UTM 9717638 |
| 14 | 37 | 23 M 0581083 UTM 9717574 |
| 15 | 38 | 23 M 0581069 UTM 9717544 |
| 16 | 39 | 23 M 0580970 UTM 9717389 |
| 17 | 40 | 23 M 0580931 UTM 9717331 |
| 18 | 41 | 23 M 0580880 UTM 9717258 |
| 19 | 42 | 23 M 0580770 UTM 9717125 |
| 20 | 43 | 23 M 0580754 UTM 9717110 |
| 21 | 44 | 23 M 0580792 UTM 9717067 |
| 22 | 45 | 23 M 0580842 UTM 9716936 |

Fonte: Autor (2018).

A planta topográfica foi georreferenciada para que se pudesse delimitar as bacias hidrográficas, uma vez que o documento de topografia não está georreferenciado, ou seja, o objetivo do levantamento de pontos por GPS foi obter o encaixe exato das ruas vetoriais geradas no formato DXF nas imagens de superfície de domínio público utilizadas.

Em seguida, foi obtida a imagem Matricial (Raster), ou seja, imagem descrita por meio de *pixels*, na qual possui valores de elevação. Para o estudo, tomou-se a carta de altitude da cidade de São Luís, que possibilitou a geração das curvas de nível da área. Tais imagens são obtidas em TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil, do site do Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, como mostrado na Figura 18.

Figura 18 – Site TOPODATA – imagem raster de elevação

Fonte: Autor (2018).

Com o programa ArcGIS® 10.6, foi realizado a delimitação das Bacias Hidrográficas 01 e 02 por meio do mecanismo de vetorização das imagens raster em curvas de nível da área de estudo, ou seja, após o processo de georreferenciamento das imagens vetoriais DXF e da geração das curvas de nível foi possível realizar as delimitações das bacias que se deu a partir do embasamento da planta topográfica, uma vez que o escoamento da água possui a trajetória natural de se locomover dos pontos mais elevados para os mais baixos, e a topografia é a representação planialtimétrica do terreno por meio das curvas de nível.

Após a criação das bacias hidrográficas no programa computacional ArcGIS® 10.6, suas imagens foram utilizadas no programa QGIS® 2.18, onde foi realizado a sobreposição das imagens de arruamento, topografia e bacias hidrográficas delimitadas, e em seguida extraído todos os dados necessários para o estudo de drenagem do local.

3.4 Aplicação do Método Racional

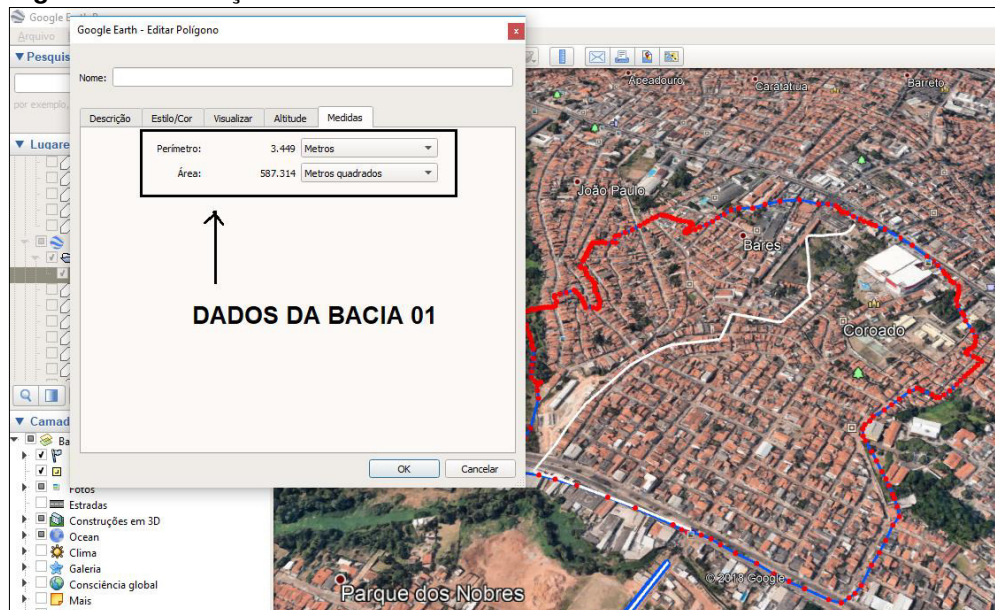
À aplicação do Método Racional foi considerada a principal etapa de todo estudo, uma vez que a sua utilização irá determinar a obtenção de importantes resultados no desenvolver do trabalho. O Método Racional foi utilizado para se obter a vazão de projeto produzida pelas duas bacias hidrográficas e que contribuem para o local em estudo. Para tanto, foi necessária a obtenção dos parâmetros de área total das bacias de contribuição, intensidade pluviométrica da chuva na região e o coeficiente de escoamento de toda à área, os quais foram obtidos com o auxílio de programas computacionais e dados teóricos. O local de alagamento em estudo possui duas bacias de contribuições, pois o mesmo situa-se em uma região de um nível menor entre duas regiões com níveis maiores, o que acarreta o direcionamento da água para tal lugar. Com isso, o dimensionamento hidráulico foi realizado a partir da análise das vazões das Bacias Hidrográficas 01 e 02.

3.4.1 Área das Bacias Hidrográficas

Às áreas das bacias de contribuição são um parâmetro determinante para à aplicação do Método Racional, uma vez que o resultado deve atender as limitações que o método apresenta e suas premissas.

As imagens das delimitações das bacias hidrográficas foram transformadas, a partir da sua produção em shapefile, ou seja, imagem resultante da vetorização no ArcGIS® 10.6, para imagem no formato KML, sendo um arquivo utilizado para exibição de dados gráficos em programas que fazem uso do navegador Terra, como por exemplo o Google Earth Pro®, representado na Figura 19.

Figura 19 – Obtenção de dados da bacia



Fonte: Autor (2018).

3.4.2 Intensidade Média de Precipitação – IDF

Tomando como base os dados da estação 00244007 (Tabela 3), uma vez que possui maior proximidade com o ponto a ser estudado, a equação IDF para cidade de São Luís, utilizada para o cálculo da intensidade de chuva é obtida pela Equação 29.

$$I = \frac{1089,68.T_r^{0,138}}{(t_c+10)^{0,742}} \quad (29)$$

A equação IDF leva em consideração os parâmetros do período de retorno (T_r) e o tempo de concentração (t_c) para o estudo aplicado. O tempo de concentração foi obtido através da fórmula de kirpich, na qual dependia do comprimento do talvegue e a diferença entre a maior e menor cota das bacias de contribuição.

O curso principal das bacias, ou seja, o talvegue, foi delimitado no programa QGIS® 2.18 e com o auxílio do Google Earth Pro®, para identificar o caminho

percorrido pela água, onde foi obtido o seu comprimento para aplicação na equação de Kirpich. Enquanto que a maior e a menor cota das bacias foram obtidas a partir da imagem raster associada junto a planta topográfica, indicando as elevações principais das bacias.

3.4.3 Coeficiente de Escoamento Superficial

Para realização do cálculo do coeficiente de escoamento, foi necessário delimitar toda área das bacias por setor no programa Google Earth Pro®, visto que cada setor possui o seu coeficiente de escoamento. As delimitações dos setores foram divididas em região de vegetação, arruamento pavimentado, arruamento não pavimentado, terreno e telhado das edificações, para Bacia Hidrográfica 01, como mostrado na Figura 20.

Figura 20 – Setorização da bacia 01



Fonte: Autor (2018).

As áreas totais de cada região da Bacia Hidrográfica 01 são mostradas no Quadro 8, onde o valor de cada setor foi organizado em uma planilha para em seguida obter o total de cada região da bacia.

Quadro 8 – Áreas da setorização da bacia 01

| Região | Total de Área (m²) |
|----------------------------|--------------------------------------|
| Vegetação | 58.910,00 |
| Arruamento pavimentado | 111.708,00 |
| Arruamento não pavimentado | 142,00 |

| | |
|-------------------------|------------|
| Terreno de solo exposto | 8.185,00 |
| Telhado das edificações | 408.396,00 |

Fonte: Autor (2018).

A obtenção do coeficiente de escoamento para Bacia Hidrográfica 02 ocorreu da mesma forma que foi obtido para Bacia Hidrográfica 01, pois dividiu-se a bacia nos setores de vegetação, arruamento pavimentado, arruamento não pavimentado, terreno e telhado das edificações, como mostrado na Figura 21.

Figura 21 – Setorização da bacia 01



Fonte: Autor (2018).

As áreas totais de cada região da Bacia Hidrográfica 02 são mostradas no Quadro 9, onde o valor de cada setor foi organizado em uma planilha para em seguida obter o total de cada região da bacia.

Quadro 9 – Áreas da setorização da bacia 02

| Região | Total de Área (m ²) |
|----------------------------|---------------------------------|
| Vegetação | 101.778,00 |
| Arruamento pavimentado | 39.739,00 |
| Arruamento não pavimentado | 13.239,00 |
| Terreno de solo exposto | 9.791,00 |
| Telhado das edificações | 196.611,00 |

Fonte: Autor (2018).

3.5 Análise dos Elementos Hidráulicos

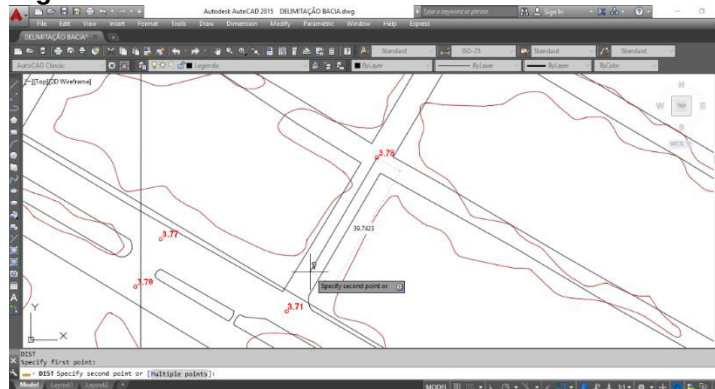
Para que o dimensionamento das sarjetas, bocas de lobo e galerias, a partir da obtenção dos resultados de vazão, fosse realizado, fez-se visitas ao local em estudo para aferição das principais medidas dos elementos, cuja medição foi realizada com o equipamento de trena métrica.

3.5.1 Sarjeta

As sarjetas analisadas foram as situadas no entorno do trecho que sofre as inundações, ou seja, as da avenida dos Africanos e as vias de acesso para os bairros do Coroado e Parque Timbiras. Com o equipamento de trena métrica, tomou-se as três medidas que compreende os catetos de um triângulo, figura geométrica que representa o formato da sarjeta.

Para se obter a vazão de cada sarjeta, utilizou-se a fórmula de Manning, representada na Equação 7, que leva em consideração os parâmetros de área da sarjeta, raio hidráulico, declividade longitudinal da rua e o coeficiente de rugosidade. A obtenção da declividade da via procedeu-se por meio da análise da planta topográfica da região em estudo, enquanto que os demais parâmetros foram calculados. A planta topográfica possui as cotas de cruzamentos das ruas e da Avenida dos Africanos, ou seja, está locada altimetricamente por meio de pontos individuais. Com o auxílio do AutoCAD – 2015[®], os pontos de cada rua foram levantados e a partir do comando “Distância” obteve-se a distância entre as cotas de cruzamento que posteriormente foi calculado a inclinação da via por meio da Equação 6, como mostra a Figura 22.

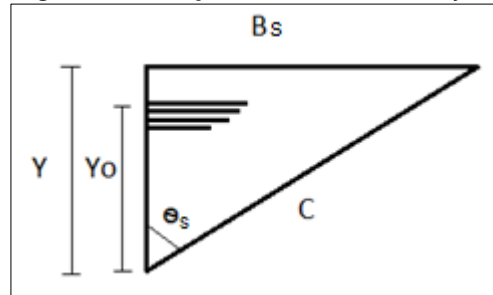
Figura 22– Cotas e distância das vias



Fonte: Autor (2018).

A análise para obter a vazão das sarjetas, leva em consideração alguns parâmetros para que se chegue a um determinado resultado. As sarjetas estudadas possuem o formato triangular, na qual possui as seguintes dimensões mostradas na Figura 23.

Figura 23 – Seção transversal da sarjeta



Fonte: Autor (2018).

Onde y é a altura da guia, y_0 é a altura da lâmina de água passante na sarjeta, B_s é a largura da sarjeta e C obtido de acordo com a variação da lâmina de água e da variação do ângulo θ . A vazão máxima de uma sarjeta ocorre quando a variação da altura da lâmina de água atinge a altura da guia.

Para chegar ao resultado final de cada sarjeta, utilizou-se o programa Excel[®] na criação de uma planilha, onde seu uso foi necessário para modelar a chegada do escoamento na sarjeta a partir do crescimento da altura de água (y_0) na guia, uma vez que tal altura cresce à medida que o escoamento é intensificado na sarjeta, como mostrado no Quadro 10 a representação dos valores obtidos.

Quadro 10 – Cálculo da vazão da sarjeta

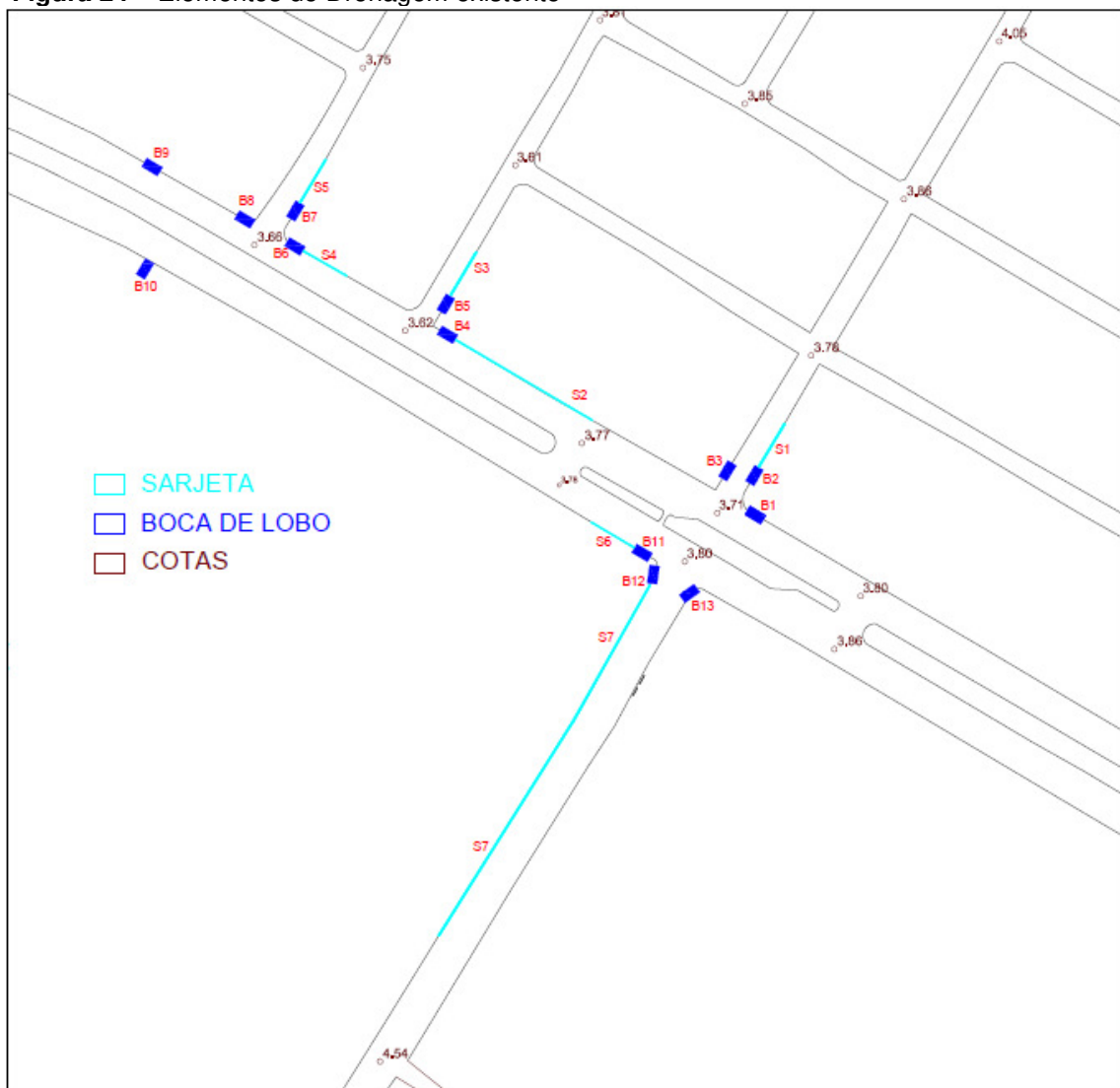
| Parâmetros de entrada | | | | | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------------|-----------|------------|-------------------------|-----------|---------------------------|
| B_s (m) | | y (m) | | i | | n | |
| 0,45 | | 0,16 | | 0,0013 | | 0,016 | |
| Parâmetros de saída | | | | | | | |
| y_0 | θ_s (rad) | C ($y/\cos \theta$) | P_m (m) | B_s' (m) | A_m (m ²) | R_{h_s} | Q_m (m ³ /s) |
| 0,13 | 1,22 | 0,388 | 0,518 | 0,366 | 0,024 | 0,045 | 0,0068 |
| 0,14 | | 0,418 | 0,558 | 0,394 | 0,028 | 0,049 | 0,0083 |
| 0,15 | | 0,448 | 0,598 | 0,422 | 0,032 | 0,052 | 0,010 |
| 0,16 | | 0,478 | 0,638 | 0,450 | 0,036 | 0,056 | 0,011 |

Fonte: Autor (2018).

A planilha conta com os parâmetros de entrada $y(m)$ e $Bs(m)$, dados estes obtidos em campo. Na primeira coluna da tabela observa o crescimento do valor da altura de água representando o aumento escoamento no elemento hidráulico e conseqüentemente o aumento da vazão representada na oitava coluna. Logo, quando a altura de água atingir a altura máxima que possui a guia, obteve-se a maior vazão suportada pela sarjeta em análise.

A identificação e locação de cada sarjeta, assim também como das bocas de lobo, junto as cotas de cada cruzamento do arruamento para realização do cálculo da inclinação da via, do ponto em estudo, é mostrado na Figura 24.

Figura 24 – Elementos de Drenagem existente



Fonte: Autor (2018).

3.5.2 Bocas de Lobo

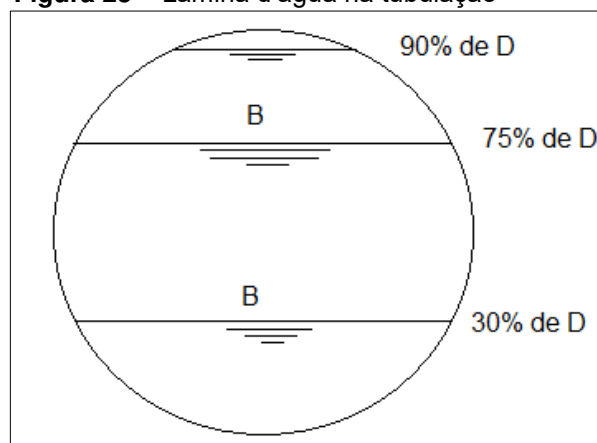
Na obtenção da vazão das bocas de lobos, utilizou-se da mesma metodologia inicial aplicada nas sarjetas. Por meio de visita realizada *in loco* e com o auxílio de uma trena métrica levantou-se as medidas de largura (L_b) e altura (H_b) para as do tipo guia sem depressão e para as do tipo grelha, tomou-se as medidas de comprimento (B'), largura (A') e altura (H_b). De posse das dimensões principais das bocas de lobo existentes no entorno do ponto de inundação, aplicou-se nas Equações 13 e 14 e calculada as suas vazões.

3.5.3 Galerias de Água Pluvial

Para o dimensionamento das galerias de água pluvial da rede de drenagem existente no local de estudo, foi realizado uma visita junto com o Engenheiro Civil (conhecido popularmente como) Beбето, profissional lotado na Secretária Municipal de Obras e Serviços Públicos (SEMOSP) da cidade de São Luís – MA, onde foi levantado os dados dos diâmetros das tubulações existentes no local e a realização do traçado da rede.

A verificação da vazão de água que passa nos condutos principais é feita a partir das Equações apresentadas no item 2.4.8, onde foi analisado cada diâmetro (D) de acordo com a altura de água variando de 30% de D até 75% de D , e também obtendo a vazão máxima passante na tubulação considerando a altura de água em 90% de D , como mostrado na Figura 25.

Figura 25 – Lâmina d'água na tubulação



Fonte: Autor (2018).

Portanto, o seu dimensionamento foi realizado de maneira análoga ao da sarjeta, onde contou-se com a criação de uma planilha no programa Excel®, que levou em consideração a entrada dos parâmetros: declividade (s), obtida a partir da planta topográfica da região, coeficiente de rugosidade (n) e do diâmetro (D), representados no Quadro 11.

Quadro 11 – Cálculo de vazão do conduto principal

| Parâmetros de entrada | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------------|-------|--------------------------|------------|-------|--------------------------|
| D (m) | | s | | | n | | |
| 0,40 | | 0,006 | | | 0,016 | | |
| Parâmetros de saída | | | | | | | |
| y/D | y para D | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 0,30 | 0,120 | 2,31 | 0,366 | 0,031 | 0,463 | 0,068 | 0,025 |
| 0,75 | 0,300 | 4,18 | 0,346 | 0,101 | 0,837 | 0,120 | 0,119 |
| 0,90 | 0,360 | 4,99 | 0,240 | 0,119 | 0,999 | 0,119 | 0,139 |

Fonte: Autor (2018).

A primeira coluna, dos parâmetros de saída, do Quadro 11, mostra a relação altura de água com o diâmetro que possui a tubulação em análise, ou seja, representa o crescimento da lâmina d'água a partir da intensificação do escoamento. Para obtenção da maior vazão que poderá suportar tal tubulação, tomou-se como altura de água a 90% do diâmetro e conseqüentemente a obtenção da maior vazão na coluna oito, como é representado na Figura 25.

3.6 Projeto de Drenagem

O projeto de drenagem a ser utilizado como possível solução do problema apresentado no estudo, conta com a sugestão da padronização do elemento sarjeta e boca de lobo, por meio de sua forma e medidas mínimas, a serem utilizados na área, elaborados a partir dos modelos apresentados no item 2.5. Além de se apresentar também o número de bocas de lobo para a região e o diâmetro das galerias de águas pluviais.

3.6.1 Número de Bocas de Lobo

Para se obter a quantidade de dispositivos que serão utilizados nas bacias de contribuição, deve-se utilizar a Equação 12, onde leva em consideração as vazões de projetos de cada bacia, de acordo com o período de retorno escolhido, e a vazão da boca de lobo apresentada como modelo padrão.

3.6.2 Galeria de Águas Pluviais

Para realização do projeto de drenagem das galerias de águas pluviais, foi utilizado o programa Excel® para criação de uma planilha que tinha como parâmetros de entrada os dados de diâmetro (D), declividade (s) e o coeficiente de Manning (n), como mostrado no Quadro 12.

Quadro 12 – Parâmetros de dimensionamento das GAP

| Parâmetros de entrada | | | | | | | |
|-----------------------|----------|----------------|-------|--------------------------|------------|-------|------------------------|
| D (m) | | s | | | n | | |
| 1,5 | | 0,05 | | | 0,013 | | |
| Parâmetros de saída | | | | | | | |
| y/D | y para D | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 0,75 | 1,125 | 4,188 | 1,299 | 1,421 | 3,141 | 0,452 | 15,614 |

Fonte: Autor (2018).

Como observado no Quadro 12, a planilha apresenta resultados utilizados para análise da vazão, na qual representada na coluna oito, tais como o ângulo formado (Θ), a largura de água de acordo com sua porcentagem na tubulação, a área de molhado, o perímetro de molhado e o raio hidráulico.

Na determinação dos diâmetros a serem utilizados no projeto das galerias, adotou-se o diâmetro de 1500mm para o conduto que receberá a contribuição da Bacia Hidrográfica 01 e diâmetro de 1200mm para a Bacia Hidrográfica 02. Diâmetros estes que foram analisados na planilha representada no Quadro 12, para atenderem a vazão contribuinte da região, obtida por meio da vazão de projeto. Para isso adotou-se o valor da inclinação de 5%, de acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (2006) e 0,013 para o coeficiente de rugosidade de tubos de concreto em

boas condições, segundo o PORTO (2006), e altura de água a 75% do diâmetro adotado.

Portanto, para que os objetivos da pesquisa fossem alcançados, utilizar-se-á a classificação de Vergara (1998), na qual é denominada como estudo de caso, uma vez que envolve um estudo profundo de um objeto de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento. Uma pesquisa em estudo de caso busca investigar um fenômeno atual dentro do seu contexto de realidade.

4. RESULTADOS

4.1 Ocorrências de Inundações na Área de Estudo

Para que se possa apresentar uma possível solução ao problema de drenagem urbana que possuem as grandes cidades brasileiras é necessário que seja feito um estudo das inundações que compreendem basicamente três parâmetros: características físicas, hidrológicas e hidráulicas; estudo dos impactos ambientais e socioeconômicos e a elaboração de ações e políticas públicas. (YEVJEVICH apud CANÇADO, 2009, p. 1). Portanto, a partir das visitas realizadas em campo, foi observado e apresentadas as causas e consequências do grande problema que possuem à Avenida dos Africanos.

Nas Figuras 26 e 27 é ilustrado a situação que apresenta à avenida durante e após grandes chuvas na região. Observa-se que o acúmulo de água no local é bastante elevado, na qual permanece por um grande intervalo de tempo, acarretando diversos problemas no entorno.

Figura 26 – Ponto Inundado



Fonte: Autor (2018).

Figura 27 – Ponto Inundado



Fonte: Globo (2016).

Dentre os problemas perceptíveis devido às intensas chuvas que causam o acúmulo de água na região, primeiro tem-se os grandes congestionamentos de veículos, pois devido à presença de água no local, os motoristas são obrigados a reduzir suas velocidades ou até mesmo pararem, uma vez que há água acumulada nas vias. Ocorre também a deterioração da camada do pavimento, o que leva a

grandes problemas estruturais da avenida. As enchentes podem ser também grandes causadoras de doenças, pois devido a movimentação da água, acontece o transporte e acúmulo de lixo, o que acaba contaminando as pessoas que passam ou residem naquela região. (SILVA *et al.*, 2011).

Figura 28 – Ponto inundado



Fonte: Mirante (2016).

A partir de registros realizado no momento exato da precipitação do dia 01 de junho de 2018, verificou-se que a presença do grande problema que existe na Avenida dos Africanos, causando grandes congestionamentos no ponto inundado, como mostra as Figuras 29 e 30.

Figura 29– Foto do ponto inundado



Fonte: Autor (2018).

Figura 30– Foto do ponto inundado



Fonte: Autor (2018).

Registros comprovam também a situação de vulnerabilidade à doenças e acidentes que vive a população que ali transita, como representa as Figuras 31 e 32.

Figura 31 – Foto do ponto inundado

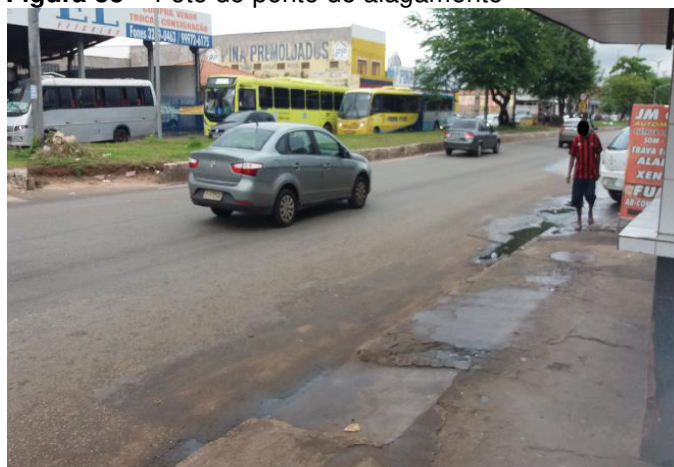
Fonte: Autor (2018).

Figura 32– Foto do ponto inundado

Fonte: Autor (2018).

Em visita feita ao local para se visualizar maiores e melhores informações sobre o problema, constatou-se a precária situação que se encontra o cruzamento da Avenida dos Africanos, uma vez que o local sofre o problema do escoamento da água devido às causas estruturais e não estruturais.

No local observa-se principalmente à ausência dos principais elementos hidráulicos (sarjetas e bocas de lobos) que garantem o escoamento inicial da água, e os que estão presentes foram instalados de forma errada. Observou-se também a colocação irregular do lixo no local, o que acaba sendo arrastados para os pontos de escoamento no período de chuva, ocasionando o entupimento dos elementos hidráulicos e consequentemente inundando da avenida.

Figura 33 – Foto do ponto de alagamento

Fonte: Autor (2018).

Na Figura 33 observa-se perfeitamente à ausência da sarjeta, elemento hidráulico inicial de toda estrutura de drenagem urbana. Percebe-se que não foi

realizado a construção da sarjeta, na qual é um dispositivo de drenagem longitudinal executado na parte lateral da via de rolamento, destinado a interceptar os deflúvios (DNIT, 2004). O que se observa é a continuação da pavimentação até o passeio, o que não garante o correto escoamento da água.

O que se presenciou também foi a grande precariedade de toda estrutura da Avenida dos Africanos e das ruas adjacentes a mesma e do passeio, ou seja, via irregular não atendendo as normas de inclinação que garantem a queda da água, problemas estruturais como afundamento de trilhas de roda, trincas, panelas e outros. Segundo Bernucci *et al.* (2008) afundamento de trilhas de rodas são deformações permanentes no revestimento asfáltico ou nas camadas abaixo, enquanto que as trincas são fendas que se abrem na superfície asfáltica e as panelas são cavidades presentes no revestimento podendo atingir ou não as demais camadas do pavimento. Como mostrado na Figura 34, destaca-se também problemas nas laterais das vias, ou seja, grandes panelas que devido ao desgaste das camadas do pavimento, acabam gerando o acúmulo de água no local.

Figura 34 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos



Fonte: Autor (2018).

Outro problema encontrado no estudo *in loco*, foi o estado que se encontram as bocas de lobo, ou seja, a sua estrutura física muitas das vezes não garantem o devido escoamento da água. Uma vez que tal elemento hidráulico possua as

dimensões adequadas para receber tal vazão, ocorre que o fatores como estrutural, tipo ideal para aquele lugar e os pontos onde são locadas, influenciam diretamente no seu funcionamento, gerando assim o problema de inundação na região, como observado nas Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos



Fonte: Autor (2018).

Figura 36 – Ponto de Alagamento – Avenida dos Africanos



Fonte: Autor (2018).

A partir de uma análise mais abrangente do local, observaram-se a dimensão do problema que apresenta a Avenida dos Africanos no que diz respeito ao mecanismo de drenagem urbana. O ponto de inundação é dividido entre os bairros do Coroado e Parque Timbiras, em que este último está localizado em uma cota mais elevada, fazendo com que toda precipitação recebida no ponto mais alto do bairro Parque Timbiras eflui para o ponto mais baixo, ou seja, para o local de inundação, como representado na Figura 37.

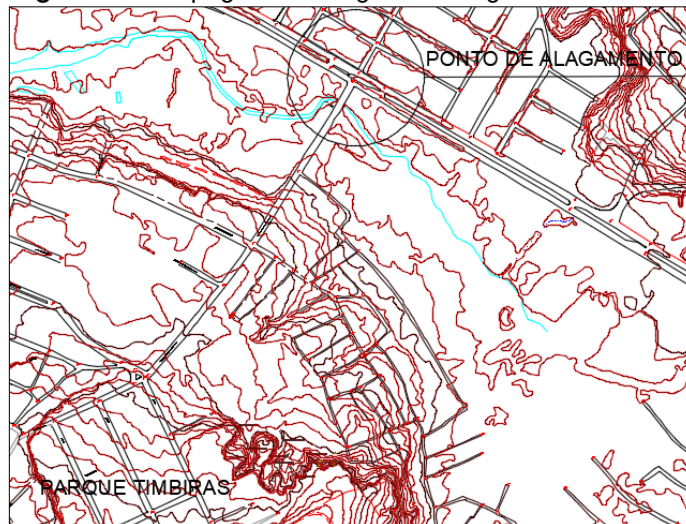
Figura 37 – Av. Vicente Venâncio de Queiroga



Fonte: Autor (2018).

Como é apresentado na Figura 38 da carta topográfica, observa-se que as curvas de nível situadas no bairro Parque Timbiras estão mais próximas, o que significa que aquele local possui maiores altitudes. Além do quê, pode-se perceber o crescimento altímetro da rua que leva ao bairro Parque Timbiras.

Figura 38 – Topografia da região de alagamento



Fonte: Autor (2018).

A avenida enfrenta outro grande problema causador de enormes alagamentos no local, que é a presença de um canal situado no início da Avenida Vicente Venâncio de Queiroga, próximo ao cruzamento, como mostra a Figura 39. Tal canal foi construído para permitir a passagem do Rio das Bicas, no qual desagua no Rio Bacanga. O maior problema do canal é devido ao entupimento do mesmo causado

pelo despejo irregular de lixo da população residente naquela área e o descaso por conta dos órgãos públicos no que tange a desobstrução, limpeza e manutenção do mesmo.

Figura 39 – Canal



Fonte: Autor (2018).

A partir de informações obtidas por meio de pessoas que circulam no local, constatou-se que em situações onde o canal está assoreado por detritos (lixo, pedras, areia e outros), o nível do mesmo acaba subindo devido ao aumento da precipitação, o que acarreta o transbordamento da água para avenida, gerando uma grande inundação no ponto.

Para finalizar o estudo realizado *in loco*, foi analisado um importante causador do alagamento no ponto de estudo, que é o despejo irregular do lixo urbano. Por falta de informação, a população que ali reside e circunda acaba realizando o despejo de resíduos no local, fazendo com que o mesmo seja arrastado para os elementos hidráulicos causando o seu entupimento e conseqüentemente alagamento da Avenida dos Africanos, como representa a Figura 40.

Figura 40 – Boca de lobo obstruída



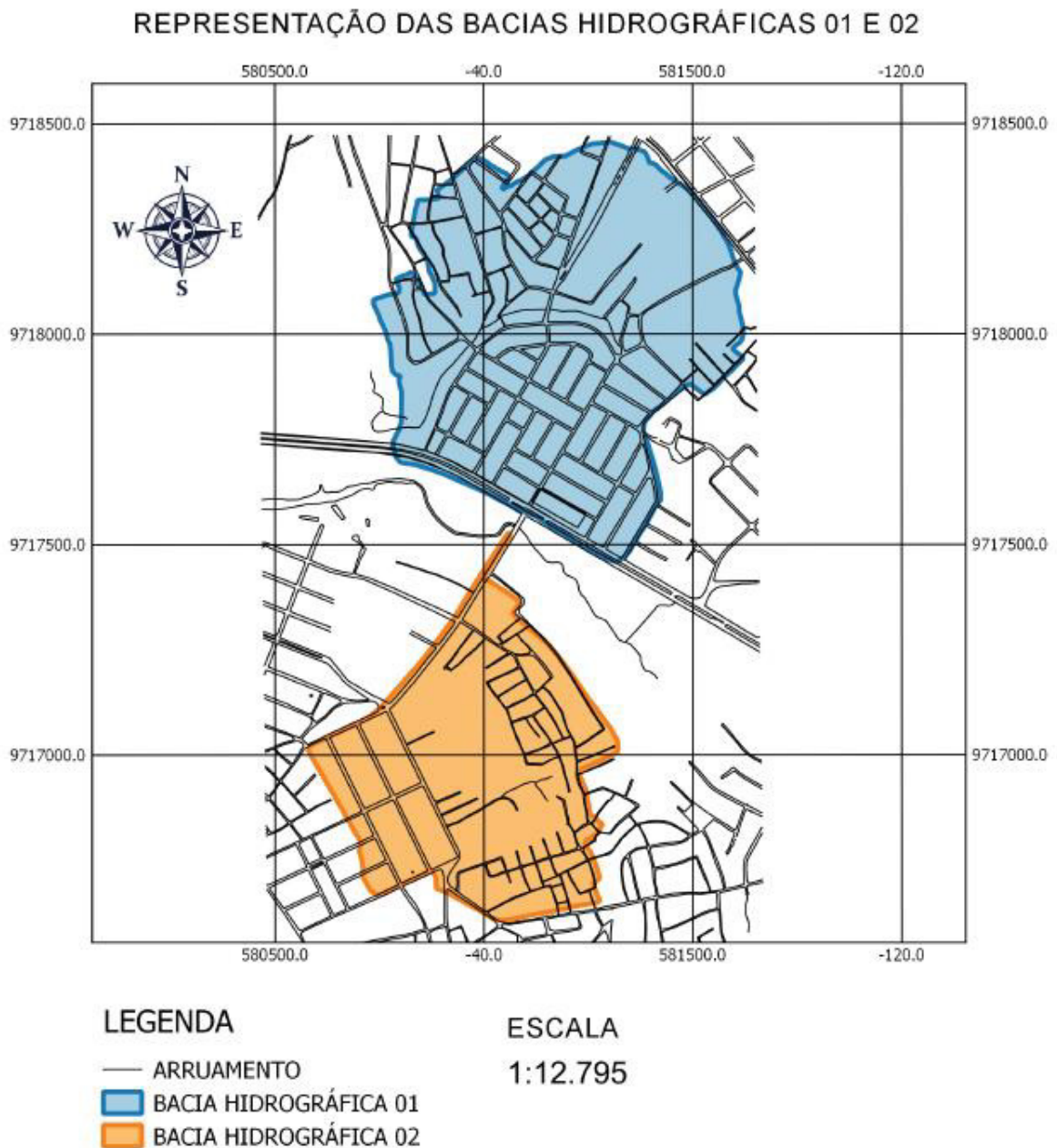
Fonte: Autor (2018).

Portanto, a partir do estudo realizado no local e observando o grande problema de drenagem urbana que apresenta à Avenida dos Africanos, conclui-se que a região necessita de medidas de engenharia que visam a solução do de tal situação.

4.2 Georreferenciamento da Avenida dos Africanos

O georreferenciamento é um importante resultado para a análise e principalmente dimensionamento do mecanismo de drenagem de um determinado local.

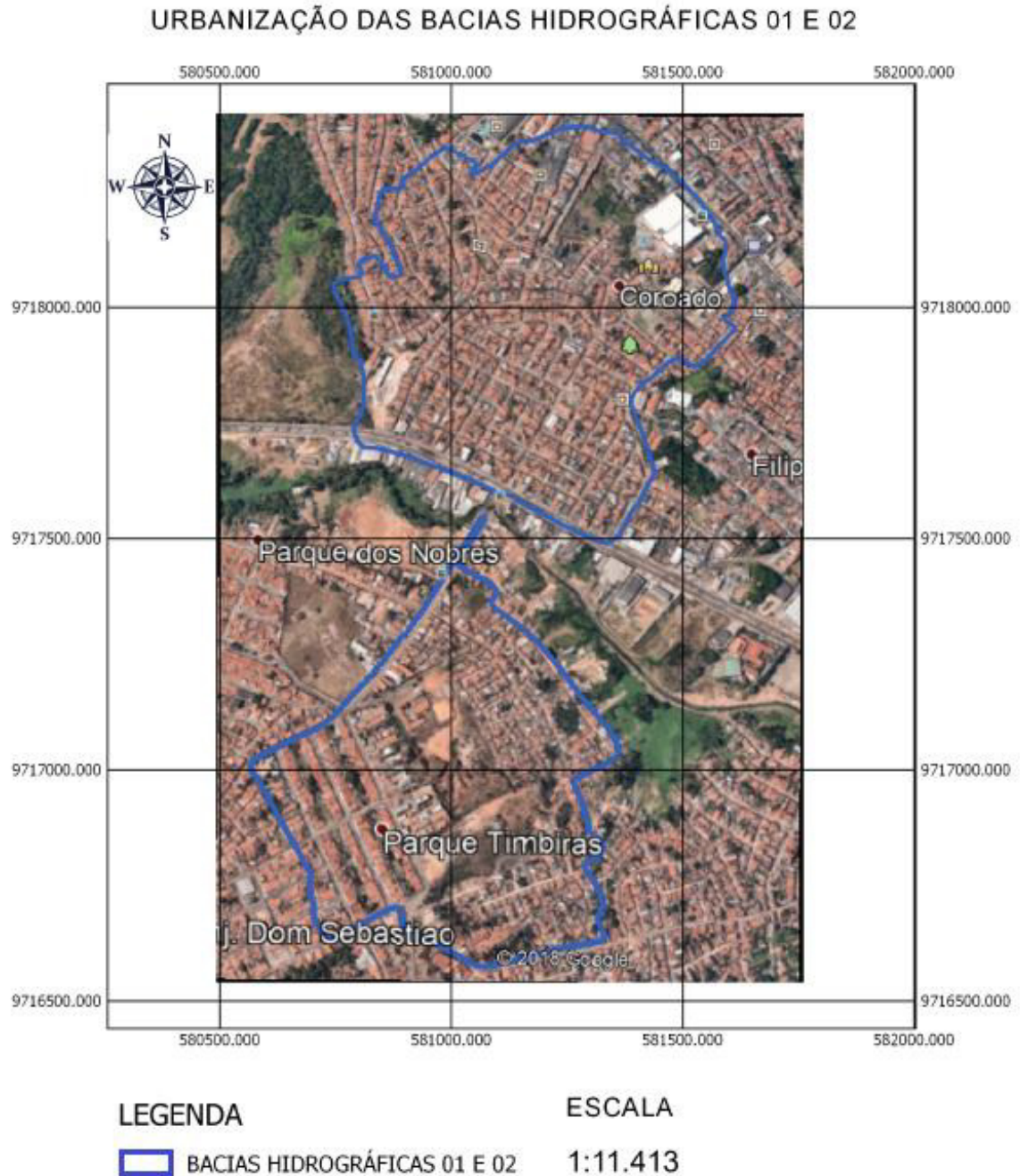
Figura 41 – Mapa de delimitação das bacias



Fonte: Autor (2018).

Na Figura 41 acima é mostrado o mapa das Bacias Hidrográficas (BH) 01 e 02, as quais contribuem todo o seu escoamento para o ponto em estudo. A BH 01 é a situada na região do bairro Coroado, e a BH 02 é a bacia situada na região do bairro Parque Timbiras.

Figura 42 – Mapa de delimitação das bacias na urbanização

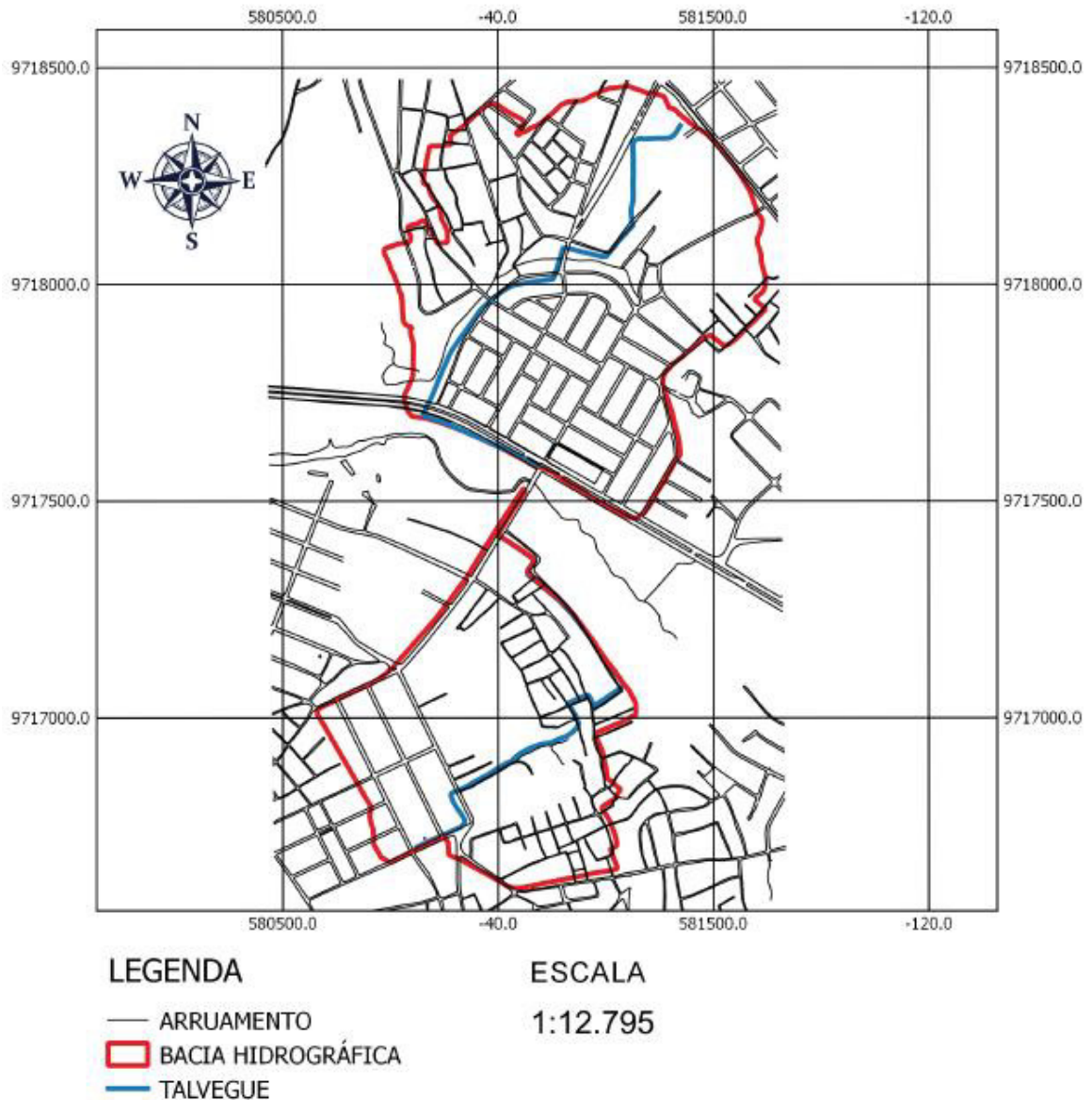


Fonte: Autor (2018).

Na Figura 42 está representada, mais detalhada, a localização das Bacias Hidrográficas 01 e 02, uma vez que é mostrado sua delimitação junto a urbanização, indicando todo o caminho da água pelo arruamento dos bairros que contribuem para o ponto inundado.

Figura 43 – Mapa dos talvegues das bacias

REPRESENTAÇÃO DOS TALVEGUES

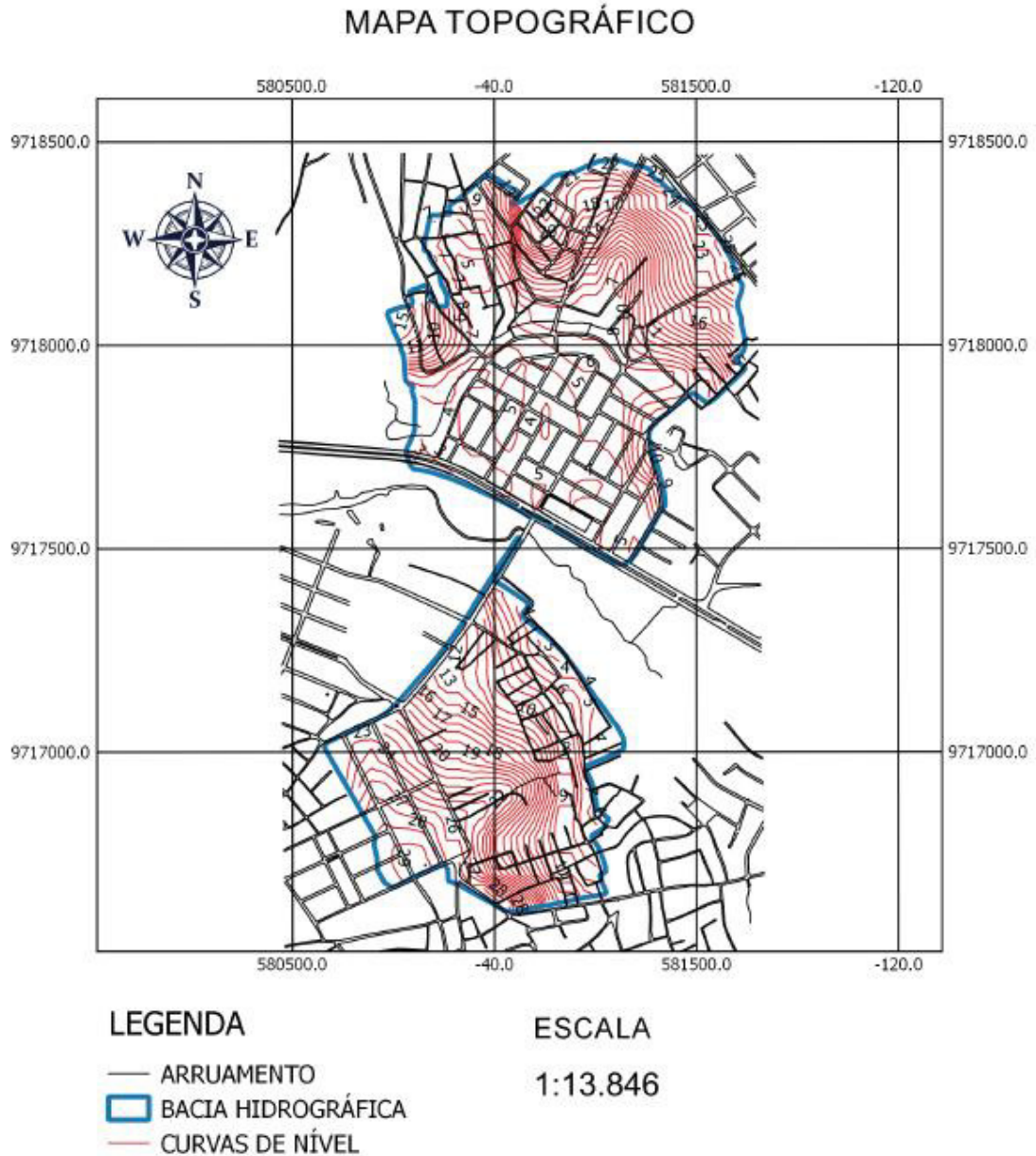


Fonte: Autor (2018).

A ilustração mostrada na Figura 43 representa os talvegues das BH 01 e BH 02, sendo o principal trecho por onde ocorre a passagem do escoamento superficial

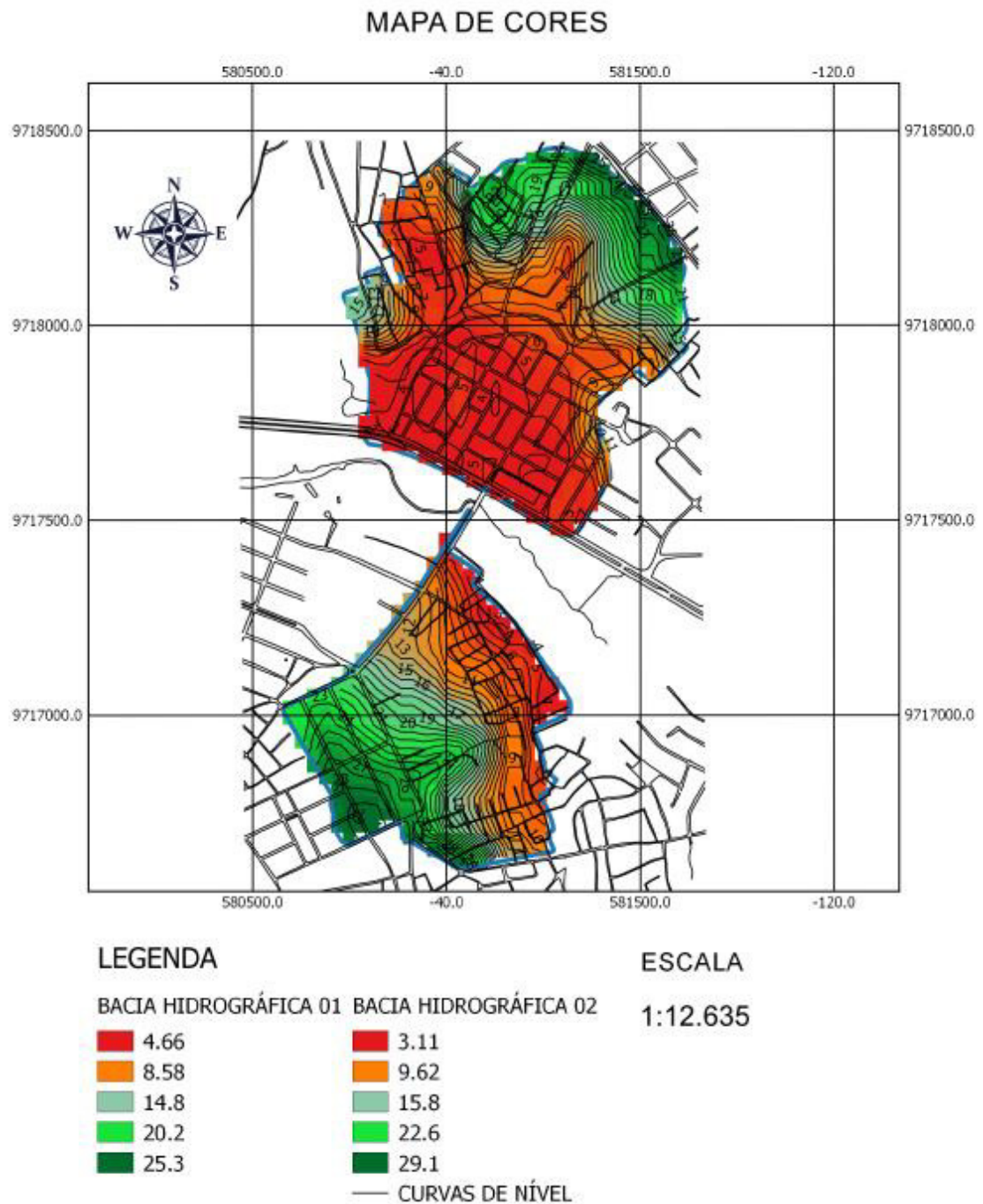
da bacia hidrográfica, ou seja, é o principal caminho da bacia, sendo considerado o mais longo que parte do ponto mais remoto até o exutório.

Figura 44 – Mapa de representação da topografia das bacias



Fonte: Autor (2018).

O mapa topográfico, mostrado na Figura 44, é uma importante ferramenta para o estudo de verificação e criação de projetos de drenagem urbana, uma vez que as delimitações das bacias hidrográficas devem seguir além do arruamento, a topografia de toda região, ou seja, à água da chuva escoar do ponto mais elevado para o menos elevado, como observado na Figura 44, em que a região inundada está na cota 4 ou 5, enquanto que os pontos mais elevados estão na cota 27 a 29.

Figura 45 – Mapa espectral de elevação das bacias

Fonte: Autor (2018).

Outro importante mapa para o estudo de drenagem urbana de um determinado lugar é o mapa espectral de elevação, produzido através da imagem topográfica de toda a bacia hidrográfica, no qual representa a sua maior e a menor cota altimétrica, como observado na legenda da Figura 45.

4.3 Resultados dos Parâmetros do Estudo de Drenagem

4.3.1 Área das Bacias Hidrográficas 01 e 02

A partir dos mapas gerados no georreferenciamento da região em estudo, extraiu-se dados que irão garantir o dimensionamento dos elementos hidráulicos e consequentemente o projeto de drenagem da Avenida dos Africanos, dentre tais dados, tem-se o da área e o perímetro das bacias, mostrados no Quadro 13.

Quadro 13 – Resultados de área e Perímetro das bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Área (m ²) | Perímetro (m) |
|--------------------|------------------------|---------------|
| Bacia 01 | 587.314,00 | 3.449,00 |
| Bacia 02 | 361.158,00 | 2.877,00 |

Fonte: Autor (2018).

Uma vez observado os valores das áreas das bacias de contribuição para o local de alagamento da Avenida dos Africanos, conclui-se que os mesmos se encontram no intervalo limite para o uso do Método Racional, o que garante a sua aplicabilidade para análise e elaboração do dimensionamento hidráulico da região.

4.3.2 Intensidade Média de Precipitação – IDF

As intensidades de chuva das bacias dependem do seu tempo de concentração e que dependem do comprimento dos talwegues existente. Portanto, os comprimentos dos talwegues das bacias 01 e 02 são apresentados no Quadro 14.

Quadro 14 – Comprimento dos talwegues das bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Comprimento do Talvegue (km) |
|--------------------|------------------------------|
| 01 | 1,35363 |
| 02 | 1,36559 |

Fonte: Autor (2018).

O valor da diferença entre as maiores e menores cotas também é um parâmetro necessário para à obtenção do tempo de concentração das bacias, obtido a partir do mapa da Figura 45, nos quais são representados no Quadro 15.

Quadro 15 – Variação de cotas das bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Cota maior | Cota menor | Diferença entre cotas (m) |
|--------------------|------------|------------|---------------------------|
| 01 | 25,3195 | 4,6587 | 20,66 |
| 02 | 29,1377 | 3,1145 | 26,02 |

Fonte: Autor (2018).

De posse do comprimento dos talvegues e da diferença entre a maior e menor cotas das Bacias Hidrográficas 01 e 02, o tempo de concentração das mesmas é apresentado no Quadro 16.

Quadro 16 – Tempo de concentração das bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Tempo de Concentração (min) |
|--------------------|-----------------------------|
| 01 | 25,20 |
| 02 | 23,29 |

Fonte: Autor (2018).

Portanto, uma vez que os resultados das equações IDF de cada bacia dependem do período de retorno (T_r), no qual foi utilizado para 05 e 10 anos, obteve-se às intensidades de chuvas das bacias 01 e 02, como mostra o Quadro 17.

Quadro 17 – Intensidade da chuva nas bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Intensidade de Chuva (mm/h) | |
|--------------------|-----------------------------|---------------|
| | Tr de 05 anos | Tr de 10 anos |
| 01 | 96,87 | 106,60 |
| 02 | 100,97 | 111,10 |

Fonte: Autor (2018).

4.3.3 Coeficiente de Escoamento Superficial

O coeficiente de escoamento foi obtido através da ponderação de cada valor correspondente para cada área, nos Quadros 18 e 19 são apresentadas as áreas de cada setor delimitado das bacias 01 e 02.

Quadro 18 – Setorização da bacia hidrográfica 01

| Setor | Área (m²) |
|----------------------------|------------------|
| Vegetação | 58.910,00 |
| Arruamento Pavimentado | 111.708,00 |
| Arruamento não Pavimentado | 142,00 |
| Terreno de Solo Exposto | 8.185,00 |
| Telhado das Edificações | 408.396,00 |

Fonte: Autor (2018).

Quadro 19 – Setorização da bacia hidrográfica 02

| Setor | Área (m²) |
|----------------------------|------------------|
| Vegetação | 101.778,00 |
| Arruamento Pavimentado | 39.739,00 |
| Arruamento não Pavimentado | 13.239,00m |
| Terreno de Solo Exposto | 9.791 |
| Telhado das Edificações | 196.611,00 |

Fonte: Autor (2018).

Portanto, após a ponderação entre a área de cada setor com seu respectivo coeficiente de escoamento, é apresentado no Quadro 20 os coeficientes calculados para as Bacias Hidrográficas 01 e 02.

Quadro 20 – Coeficiente de escoamento das bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Coeficiente de Escoamento (C) |
|---------------------------|--------------------------------------|
| 01 | 0,78 |
| 02 | 0,65 |

Fonte: Autor (2018).

4.3.4 Vazão de Projeto

O dimensionamento da rede de drenagem é feito a partir da vazão de projeto, que foi obtida por meio do Método Racional, levando em consideração do período de retorno (T_r) de 05 e 10 anos, que para Bacia Hidrográfica 01 e 02 possuem seus respectivos valores mostrados no Quadro 21.

Quadro 21 – Vazão de projeto das bacias 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Vazão de Projeto (m ³ /s) | |
|--------------------|--------------------------------------|---------------|
| | Tr de 05 anos | Tr de 10 anos |
| 01 | 12,32 | 13,56 |
| 02 | 6,58 | 7,24 |

Fonte: Autor (2018).

Observa-se que a escolha do período de retorno possui grande influência no resultado da vazão final de projeto. Quando o dimensionamento usado para 10 anos, obteve-se uma vazão total de 20,8m³/s, enquanto que para 05 anos resultou em uma vazão de 18,9m³/s.

Segundo Tomaz (2010) *apud* Zahed e Marcellin (1995), o período de retorno, ao contrário do que se pode de concluir, nem sempre pode gerar grandes custos na execução da obra. O que se pode concluir que ter períodos de retornos ideais como rege o Quadro 1, é uma garantia da eficiência do projeto.

Portanto, a vazão de projeto é o parâmetro primordial para a execução de obras hidráulicas, uma vez que a mesma irá determinar as dimensões de vertedores de barragens, diâmetros de galerias, área de canais e entre outras obras. (ALMEIDA, 2014).

4.3.5 Sarjeta

Em visita realizada in loco, constatou-se que tal elemento hidráulico foi construído de maneira temporária, ou seja, não foi construído em concreto e nem com os padrões de dimensões da forma correta. O que se observou no local foi sarjetas feitas a partir do asfalto remanescente da pavimentação da via junto a calçada. Porém, realizou-se as medições das arestas do elemento hidráulico que há no local para a verificação, obtendo os resultados do ângulo formado a partir do crescimento da lâmina de água de acordo com a chegada do escoamento, a área de molhado da sarjeta, o perímetro de molhado e o raio hidráulico, com mostra o Quadro 22, no qual consta também os valores do coeficiente de rugosidade e declividade na rua.

Quadro 22 – Parâmetros das sarjetas existentes na Avenida dos Africanos

| Sarjeta | Parâmetros | | | | | | | |
|---------|------------|-----------|------------------|-----------|-----------|----------|-------|--------|
| | y_o (m) | B_s (m) | Θ_s (rad) | A_m (m) | P_m (m) | Rhs | n | i |
| S1 | 0,16 | 0,45 | 1,22 | 0,036 | 0,036 | 0,056462 | 0,016 | 0,0013 |
| S2 | 0,08 | 0,43 | 1,38 | 0,017 | 0,517 | 0,033245 | 0,016 | 0,002 |
| S3 | 0,06 | 0,42 | 1,42 | 0,013 | 0,484 | 0,026019 | 0,016 | 0,0001 |
| S4 | 0,07 | 0,39 | 1,39 | 0,014 | 0,466 | 0,029277 | 0,016 | 0,0007 |
| S5 | 0,09 | 0,60 | 1,42 | 0,027 | 0,697 | 0,038753 | 0,016 | 0,001 |
| S6 | 0,08 | 0,16 | 1,10 | 0,006 | 0,259 | 0,024721 | 0,016 | 0,0004 |
| S7 | 0,10 | 0,37 | 1,30 | 0,019 | 0,483 | 0,03828 | 0,016 | 0,004 |

Fonte: Autor (2018).

A vazão que contribui nas sarjetas existentes no ponto inundado é obtida a parti da Equação 5, ou seja, através da vazão de escoamento superficial da via e da sarjeta, que leva em consideração a constante K obtida por meio da largura da via (L_v) onde está localizada a sarjeta e a inclinação da via, que para as sarjetas em análise é mostrado no Quadro 23.

Quadro 23 – Vazão contribuinte para as sarjetas existentes

| Sarjeta | Parâmetros | | |
|---------|------------|-----------|-------|
| | i | L_v (m) | K |
| S1 | 0,013 | 7,0 | 1,257 |
| S2 | 0,002 | 8,0 | 1,436 |
| S3 | 0,0001 | 5,0 | 0,898 |
| S4 | 0,0007 | 8,0 | 1,436 |
| S5 | 0,001 | 7,0 | 1,257 |
| S6 | 0,0004 | 8,0 | 1,436 |
| S7 | 0,004 | 10,0 | 1,795 |

Fonte: Autor (2018).

O Quadro 24 é apresentado a comparação entre a vazão suportada na sarjeta existente e a vazão que contribui para a mesma quando ocorre a precipitação.

Quadro 24 – Comparação de vazão nas sarjetas existentes

| Sarjeta | Vazão na sarjeta existente (m ³ /s) | Vazão contribuinte na sarjeta (m ³ /s) |
|---------|--|---|
| S1 | 0,0119 | 0,143 |
| S2 | 0,0049 | 0,064 |
| S3 | 0,00069 | 0,0089 |
| S4 | 0,0021 | 0,037 |
| S5 | 0,0061 | 0,039 |
| S6 | 0,00067 | 0,028 |
| S7 | 0,0083 | 0,11 |

Fonte: Autor (2018).

Como observado no Quadro 24, conclui-se que todas as sarjetas analisadas que estão presentes no local de estudo não suportam a vazão que contribui para cada uma. Sarjetas como a 6 e 7 apresentam em situação bem críticas, uma vez que suportam uma vazão muito menor que a contribuinte na mesma.

O principal motivo das sarjetas existentes não suportarem tal vazão é devido ao uso não padronizado de tal elemento hidráulico, pois a partir da visita realizada *in loco* observou-se uma medida paliativa na aplicação das sarjetas, ou seja, sem formato regular triangular e feita a partir de asfalto remanescente das vias, além da grande deposição de solo no fundo.

4.3.6 Boca de Lobo

Constatou-se que as bocas de lobos utilizadas no local são de dois tipos: boca de lobo de guia sem depressão e boca de lobo do tipo grelha. A vazão de engolimento das bocas de lobo de guia é obtida segundo a Equação 13 e a do tipo grelha segundo a Equação 14, que dependem dos parâmetros apresentados no Quadro 25.

Quadro 25 – Parâmetros das bocas de lobo existentes na Avenida dos Africanos

| Boca de Lobo | Parâmetros | | | | | |
|--------------|--------------------|--------------------|-------|-------|--------------------|---------|
| | H _b (m) | L _b (m) | A'(m) | B'(m) | P _b (m) | Tipo |
| B1 | 0,20 | 1,10 | | | | De guia |
| B2 | 0,26 | 1,12 | | | | De guia |

| | | | | | | |
|-----|------|------|------|-----|------|---------|
| B3 | 0,24 | 1,14 | | | | De guia |
| B4 | 0,33 | 2,27 | | | | De guia |
| B5 | 0,06 | 1,75 | | | | De guia |
| B6 | 0,07 | | 0,87 | 1,0 | 3,74 | Grelha |
| B7 | 0,02 | 1,0 | | | | |
| B8 | | | | | | |
| B9 | | | | | | |
| B10 | | | | | | |
| B11 | 0,16 | 1,07 | | | | De guia |
| B12 | 0,16 | 1,19 | | | | De guia |
| B13 | 0,15 | 1,20 | | | | De guia |

Fonte: Autor (2018).

As vazões das bocas de lobo 8, 9 e 10 não foram calculadas devido a impossibilidade da obtenção de dados, ou seja, são bocas de lobo do tipo grelha, e uma vez que estavam locadas de forma incorreta, a medição do valor de H_b (altura de água na sarjeta sobre a grelha) ficou inviável de ser realizada.

O Quadro 26 é apresentado a comparação entre a vazão suportada pelas bocas de lobo existente e a vazão que contribui para a mesma quando ocorre a precipitação.

A vazão contribuinte em cada elemento é a vazão que contribui inicialmente na sarjeta ou na nas sarjetas e que em seguida direcionam o escoamento para as bocas de lobo.

Quadro 26 – Comparação de vazão nas bocas de lobo existentes

| Boca de lobo | Vazão na boca de lobo existente (m^3/s) | Vazão contribuinte na boca de lobo (m^3/s) |
|--------------|---|--|
| 1 | 0,16 | — |
| 2 | 0,41 | 0,0453 |
| 3 | 0,22 | — |
| 4 | 0,73 | 0,064 |
| 5 | 0,04 | 0,0089 |
| 6 | 0,115 | 0,037 |
| 7 | 0,004 | 0,039 |

| | | |
|----|-------|-------|
| 8 | — | — |
| 9 | — | — |
| 10 | — | — |
| 11 | 0,116 | 0,028 |
| 12 | 0,13 | 0,11 |
| 13 | 0,118 | — |

Fonte: Autor (2018).

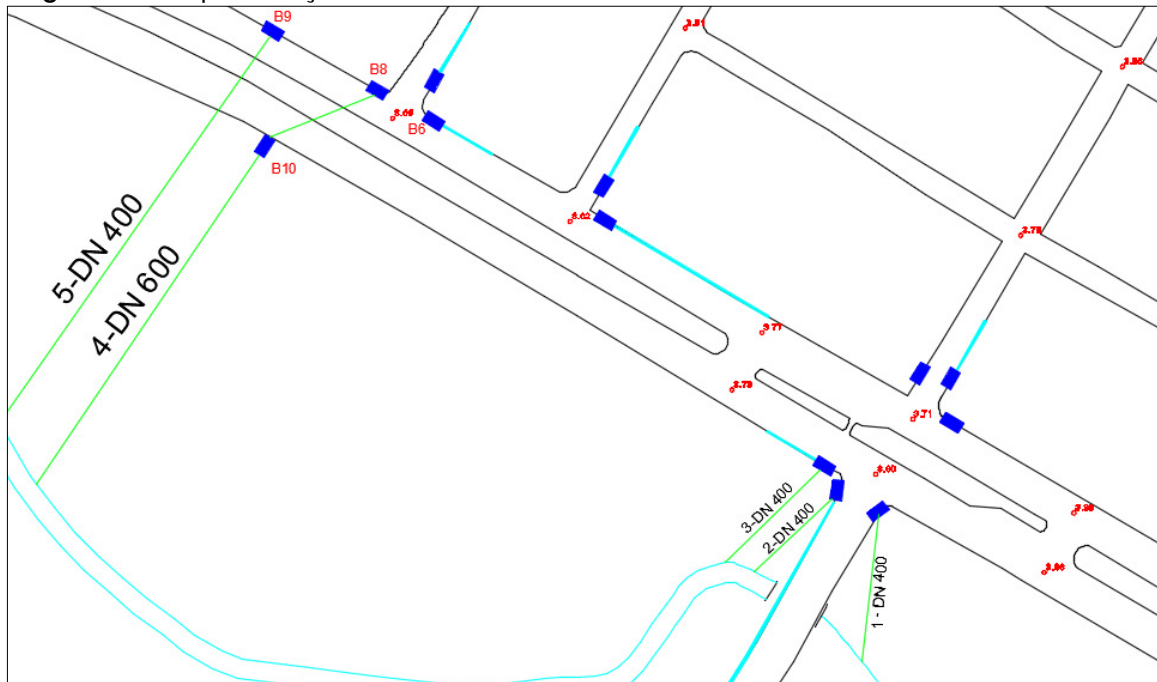
Observa-se no quadro que as capacidades das bocas de lobos existentes são maiores que as que contribuem para mesma. Tal resultado ocorre devido ao fato de o cálculo da capacidade ser realizado por meio das dimensões que apresentam o elemento hidráulico, não levando em consideração outros fatores de grande importância como: estrutura da boca de lobo, presença de resíduos que impedem a passagem da água e sua localização incorreta.

A exemplo observa-se na boca de lobo 6, na qual está localizada no sentido contrário da inclinação da rua, como mostra a Figura 24. Outro problema encontrado observa-se na boca de lobo 12 e 13, na qual está locada na esquina da Avenida dos Africanos junto a Avenida Vicente de Quiroga. Há problemas também estruturais e grande deposição de lixo nas bocas de lobo, como relatado no item 4.1, o que inviabiliza o escoamento da água para os tubos de ligação e em seguida para as galerias.

4.3.7 Galeria de Água Pluvial

A análise dos condutos principais de água pluvial existentes no ponto é feito a partir das vazões que suportam cada tubulação de acordo com a vazão da área de contribuição da bacia contribuinte, como mostrado no Quadro 10.

As galerias de águas pluviais existentes no local estão dispostas transversalmente a via, de modo que receba toda vazão de água da bacia e seja lançada diretamente no rio localizado próximo ao exutório de estudo, como mostrado na Figura 46.

Figura 46 – Representação dos condutos

Fonte: Autor (2018).

Para cada conduto principal obteve-se o parâmetro do ângulo formado pela lâmina de água, diâmetro de água, área de molhado, perímetro de molhado e raio hidráulico, como mostrado nos Quadros 27, 28, 29, 30 e 31.

- **Conduto Principal 1 – DN 400mm; $s = 0,03$; $n = 0,016$**

Quadro 27 – Parâmetros do conduto principal 1

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | A_{m_c} (m ²) | P_{m_c} (m) | Rh | Q_c (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,366 | 0,0317 | 0,463712 | 0,06838 | 0,057 |
| 75% | 4,18 | 0,346 | 0,1011 | 0,837758 | 0,12067 | 0,26 |
| 90% | 4,99 | 0,240 | 0,1191 | 0,999237 | 0,11921 | 0,31 |

Fonte: Autor (2018).

- **Conduto Principal 2 – DN 400mm; s = 0,02; n = 0,016**

Quadro 28 – Parâmetros do conduto principal 2

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|--------------------------|------------|---------|--------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,366 | 0,0317 | 0,463712 | 0,06838 | 0,046 |
| 75% | 4,18 | 0,346 | 0,1011 | 0,837758 | 0,12067 | 0,21 |
| 90% | 4,99 | 0,240 | 0,1191 | 0,999237 | 0,11921 | 0,25 |

Fonte: Autor (2018).

- **Conduto Principal 3 – DN 400mm; s = 0,025; n = 0,016**

Quadro 29 – Parâmetros do contudo principal 3

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|--------------------------|------------|---------|--------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,366 | 0,0317 | 0,463712 | 0,06838 | 0,052 |
| 75% | 4,18 | 0,346 | 0,1011 | 0,837758 | 0,12067 | 0,24 |
| 90% | 4,99 | 0,240 | 0,1191 | 0,999237 | 0,11921 | 0,28 |

Fonte: Autor (2018).

- **Conduto Principal 4 – DN 600mm; s = 0,018; n = 0,016**

Quadro 30 – Parâmetros do conduto principal 4

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|---------|--------------------------|------------|---------|--------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,54991 | 0,0713 | 0,695568 | 0,10256 | 0,13 |
| 75% | 4,18 | 0,51962 | 0,2274 | 1,256637 | 0,18101 | 0,61 |
| 90% | 4,99 | 0,3600 | 0,2680 | 1,498855 | 0,17882 | 0,71 |

Fonte: Autor (2018).

- **Conduto Principal 5 – DN 400mm; s = 0,018; n = 0,016**

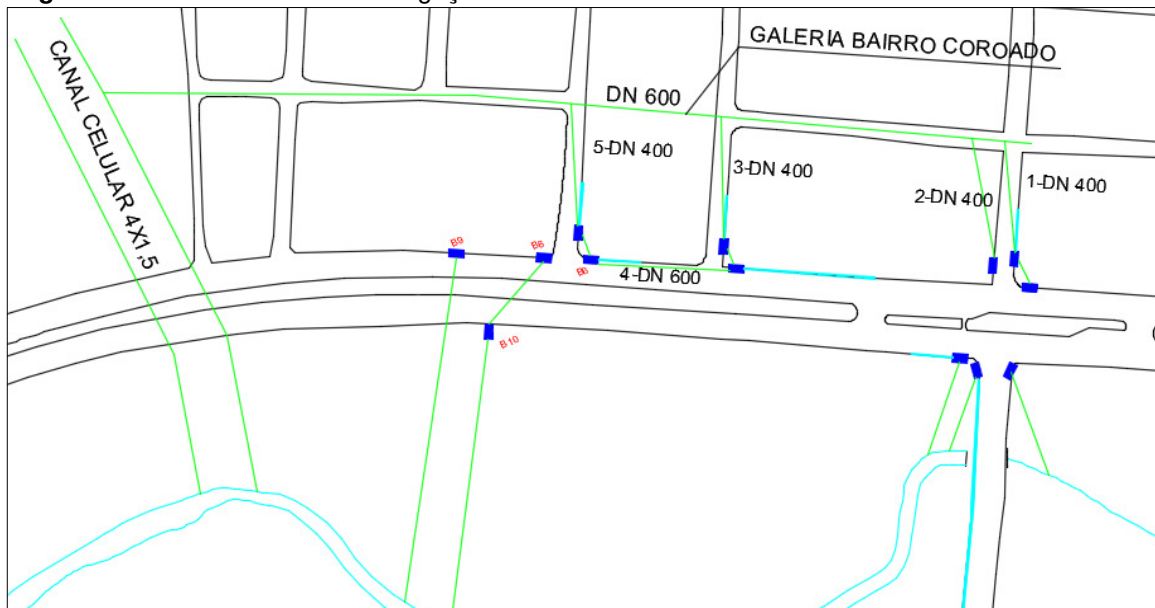
Quadro 31 – Parâmetros do conduto principal 5

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|--------------------------|------------|---------|--------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | Am_c (m ²) | Pm_c (m) | Rh | Qc (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,366 | 0,0317 | 0,463712 | 0,06838 | 0,044 |
| 75% | 4,18 | 0,346 | 0,1011 | 0,837758 | 0,12067 | 0,20 |
| 90% | 4,99 | 0,240 | 0,1191 | 0,999237 | 0,11921 | 0,24 |

Fonte: Autor (2018).

Na região do Bairro Coroado, nas proximidades do ponto de estudo, constatou-se a existência de um conduto principal que conduz o escoamento recebido da bacia 01 e o direciona para um canal celular, como mostrado na Figura 47 a seguir.

Figura 47 – Galeria e Tubos de Ligação – Bairro Coroado



Fonte: Autor (2018).

Os dados dos parâmetros para o conduto principal do bairro do Coroado são mostrados no Quadro 32.

- **Conduto Principal Coroado – DN 600mm; s = 0,006; n = 0,016**

Quadro 32 – Parâmetros do conduto principal do Coroado

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|--------|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | A_{m_c} (m ²) | P_{m_c} (m) | Rh | Q_c (m ³ /s) |
| 30% | 2,31 | 0,5499 | 0,0713 | 0,695568 | 0,10256 | 0,075 |
| 75% | 4,18 | 0,5196 | 0,2274 | 1,256637 | 0,18101 | 0,35 |
| 90% | 4,99 | 0,3600 | 0,2680 | 1,498855 | 0,17882 | 0,41 |

Fonte: Autor (2018).

As vazões consideradas são da altura de água a 90% do diâmetro de cada tubulação, admitindo que tal porcentagem seja a pior situação para o conduto.

Quadro 33 – Vazões das Galerias de Águas Pluviais (GAP) em m³/s

| Vazão de Projeto (m ³ /s) | | | GAP 1 | GAP 2 | GAP 3 | GAP 4 | GAP 5 | GAP COR |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Tr | 10 | 05 | | | | | | |
| BH 01 | 13,56 | 12,32 | 0,32 | 0,25 | 0,28 | 0,71 | 0,24 | 0,41 |
| BH 02 | 7,24 | 6,58 | | | | | | |

Fonte: Autor (2018).

A partir dos dados apresentados no Quadro 33, observa-se que nenhum dos condutos principais possuem diâmetro suficiente para carregarem as vazões das Bacias Hidrográfica 01 e 02 para os referidos períodos de retorno (Tr), sugeridos a bibliografia de drenagem de águas pluviais. Vale ressaltar que os condutos em análise recebem a vazão da bacia 01, uma vez que estão localizados nas proximidades do bairro Coroado. Em visita realizada no local, constatou-se a inexistência de condutos para a bacia 02 nas proximidades do ponto de alagamento, levando à conclusão que a drenagem de tal bacia é feita superficialmente e segue para o rio localizado no local sem nenhum controle do escoamento.

A partir da análise dos dados e da drenagem existente, constatou-se a existência de dois possíveis problemas que causam grandes alagamentos na região.

Primeiramente observou-se a inexistência do mecanismo padrão de microdrenagem, ou seja, não há a sequência teórica que o escoamento deveria realizar após adentrar as bocas de lobo e em seguida se direcionar para os tubos de ligação, para as galerias e por último ser lançado no corpo hídrico receptor. O que ocorre no ponto de estudo é o escoamento após adentrar as bocas de lobos serem direcionados diretamente para as galerias de água pluvial, nas quais possuem diâmetro inferiores para suportarem tal vazões que possuem as bacias do ponto. O seguinte problema, considerado o principal, é a forma de como toda a rede de drenagem está disposta em todo local analisado, desprezando o padrão usual, em que há a presença de uma galeria de água pluvial principal no exutório, instalado de forma longitudinal a via, recebendo toda contribuição das bacias para que todo o escoamento seja lançado no corpo receptor. Pelas Figuras 46 e 47 observa-se os condutos instalados de forma transversal à via, recebendo o escoamento e lançado diretamente para o rio localizado na proximidade.

Portanto, constata-se que todos os condutos principais analisados não possuem a capacidade de conduzirem nem 20% de toda vazão da Bacia Hidrográfica 01 para um tempo de recorrência de 10 anos, acarretando dessa forma grandes inundações.

5. SUGESTÃO DE UM NOVO PROJETO DE DRENAGEM PARA AVENIDA DOS AFRICANOS

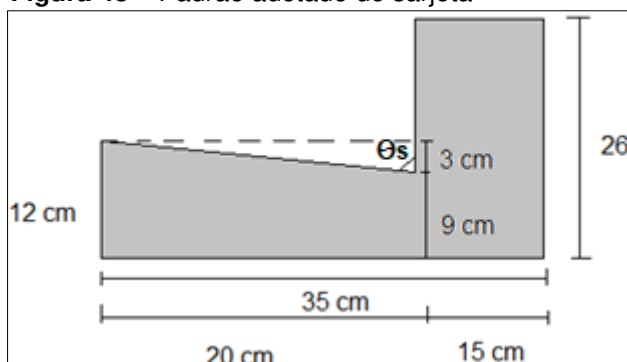
Haja vista do grande problema de drenagem que apresenta a Avenida dos Africanos, comprovado a partir de visitas realizadas no local, registros de fotos mostrando a área inundada, problemas dos elementos hidráulicos e a comprovação por meio dos cálculos da grande deficiência de tais elementos, chegou-se à conclusão que a região necessita de um novo projeto de microdrenagem que garanta o correto escoamento da água pluvial que contribui para a área de estudo analisada. Vale ressaltar que a solução apresentada é considerada uma possibilidade, uma vez que qualquer obra de engenharia necessita de um planejamento maior, com uma equipe técnica qualificada e com mais recursos humanos e principalmente um considerável investimento, visando a melhor qualidade de sua execução e o seu funcionamento.

Portanto, serão apresentados alguns parâmetros dos elementos hidráulicos que compõe a rede de drenagem, ou seja, apresentam-se medidas de projeto das sarjetas, boca de lobo e galerias de água pluvial.

5.1 Sarjeta

Tomando como base as medidas mínimas das sarjetas mostradas nas Figuras 10 e 11, elaborou-se um padrão de sarjeta para ser usada no local de estudo, como representada na Figura 48.

Figura 48 – Padrão adotado de sarjeta

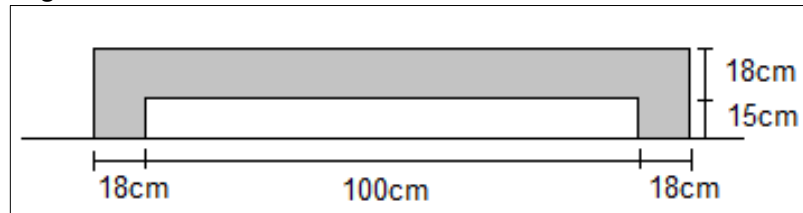


Fonte: Autor (2018).

5.2 Boca de Lobo

A partir dos modelos base apresentados nas Figuras 12 e 13, elaborou-se um modelo com suas dimensões mínimas que visa receber a vazão contribuinte no ponto de alagamento em estudo, como mostrado na Figura 49.

Figura 49 – Padrão adotado de boca de lobo



Fonte: Autor (2018).

As dimensões mínimas adotadas para boca lobo a ser usada no local de estudo devem atender as vazões que nelas irão contribuir, para isso tal verificação é feita a partir da Equação 13, e seu dimensionamento é mostrado a seguir:

$$\text{Onde, } L = 100\text{cm} + 18\text{cm} + 18\text{cm} = 136\text{cm} = 1,36\text{m} \text{ e } y = 15\text{cm} = 0,15\text{m}.$$

Obtendo uma vazão de $0,13\text{m}^3/\text{s}$

A partir de tal resultado, conclui-se que o modelo de boca de lobo adotada possui a capacidade de suportar a vazão contribuinte que chegará até a mesma, uma vez que comparando tais vazões apresentadas no Quadro 26 são menores que $0,13\text{m}^3/\text{s}$.

5.3 Quantidade de Bocas de Lobo

Para solucionar o problema de inundação na região em estudo deve-se distribuir dispositivos de bocas de lobo nas duas bacias de contribuição. Portanto, a partir da relação da vazão de projeto das bacias 01 e 02 para os períodos de retorno de 05 e 10 anos sobre a vazão da boca de lobo padrão, o número de dispositivos é apresentado no Quadro 34.

Quadro 34 – Quantidade de bocas de lobo para as bacias hidrográficas 01 e 02

| Bacia Hidrográfica | Número de dispositivos | |
|--------------------|------------------------|---------------|
| | Tr de 05 anos | Tr de 10 anos |
| | | |

| | | |
|----|----|-----|
| 01 | 94 | 104 |
| 02 | 50 | 55 |

Fonte: Autor (2018).

5.4 Galeria de Água Pluvial

A galeria de água pluvial é o elemento mais importante de toda rede de drenagem, uma vez que será o conduto que transportará toda ou a grande maioria da vazão gerada pela bacia de contribuição, até o lançamento final no corpo hídrico receptor.

Para atender ao problema do ponto de estudo, será necessário a implantação de duas principais galerias que possa atender a vazão contribuinte da BH 01 e BH 02. O tipo de tubulação a ser empregada é do tipo pré-moldado em concreto armado e no formato circular, como mostrado na Figura 50.

Figura 50 – Manilha em concreto armado

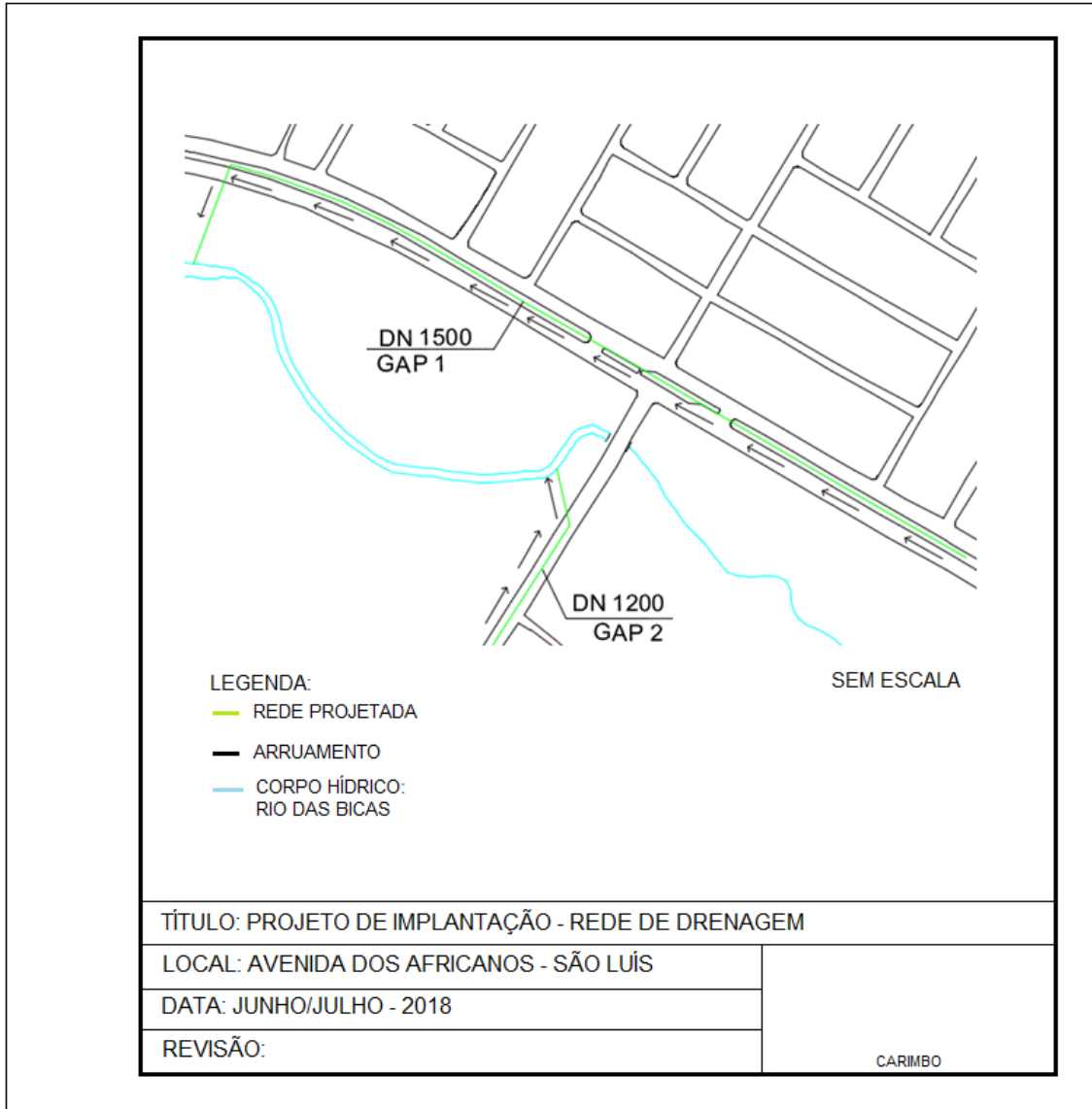


Fonte: Gimenez (2014).

Para atender a BH 01, deve haver uma tubulação que atenda uma vazão de $13,56\text{m}^3/\text{s}$ para um período de retorno de 10 anos ou para uma vazão de $12,32\text{m}^3/\text{s}$ com um período de retorno de 05 anos. Enquanto que para bacia hidrográfica 02 deve haver um conduto que atenda a vazão de $7,24\text{m}^3/\text{s}$ para um período de retorno de 10 anos e para uma de $6,58\text{m}^3/\text{s}$ tendo um período de retorno de 05 anos. A partir da análise dos mapas da bacia, um possível projeto para solução do problema de inundação é a implantação de galeria principal de água pluvial que passará pela Avenida dos Africanos, para receber o escoamento da BH 01, da região do Bairro

Coroado e outra galeria que passará pela Avenida Vicente de Queiroga, que receberá o escoamento da BH 02, da região do Bairro Parque Timbiras, para que as duas sejam lançadas no Rio das Bicas, como mostra na Figura 51.

Figura 51 – Galerias de Água Pluvial (GAP) projetadas



Fonte: Autor (2018).

Portanto, os parâmetros e a vazão suportada pelas galerias de águas pluviais apresentadas nos projetos são mostrados nos Quadros 35 e 36.

- **GALERIA 01 – DN 1500mm; n = 0,013; s = 0,05**

Quadro 35 – Parâmetros e vazão da galeria 01

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | A_{m_c} (m ²) | P_{m_c} (m) | Rh | Q_c (m ³ /s) |
| 75% | 4,18 | 1,29 | 1,42167 | 3,14159 | 0,45253 | 14,41 |

Fonte: Autor (2018).

- **GALERIA 02 – DN 1200mm; n = 0,013; s = 0,05**

Quadro 36 – Parâmetros e vazão da galeria 02

| y/D | Parâmetros | | | | | |
|-----|----------------|-------|-----------------------------|---------------|---------|---------------------------|
| | Θ (rad) | B (m) | A_{m_c} (m ²) | P_{m_c} (m) | Rh | Q_c (m ³ /s) |
| 75% | 4,18 | 1,039 | 0,90987 | 2,513274 | 0,36202 | 7,94 |

Fonte: Autor (2018).

Portanto, de acordo com as vazões obtidas e apresentadas nos Quadros 35 e 36, para atender as Bacias Hidrográficas 01 e 02, respectivamente, conclui-se que os diâmetros adotados para as galerias 01 e 02 podem atender as vazões que irão passar por eles, de acordo com as vazões de projeto.

6. CONCLUSÃO

Diante de todo estudo realizado, é notório o grande problema existente na Avenida dos Africanos, onde se observa um deficiente mecanismo de microdrenagem na região, que inviabiliza o correto escoamento da água.

Inicialmente, constatou-se que o local está situado em uma região que possui menores cotas em relação ao seu entorno, o que ocasiona o direcionamento de todo escoamento para a área de estudo. A partir disso foi constatado que o local não apresenta as atribuições adequadas de projeto dos elementos hidráulicos, como a instalação de sarjetas padronizadas, a localização correta das bocas de lobo e principalmente o sequenciamento do mecanismo de drenagem.

Dentre os principais problemas enfrentados em todos os pontos de alagamento da cidade de São Luís e também de outras capitais brasileira, tem-se o lançamento de resíduos nas vias que posteriormente ocasionam o entupimento das bocas de lobo. Com isso, foi observado a falta de conscientização da população que vive em torno do ponto de alagamento na Avenida dos Africanos, onde foram relatadas várias deposições de lixos nas ruas e nos elementos hidráulicos, bem como a grande falta de estrutura das vias e de tais elementos, e quando existentes constatou-se a degradação e deterioração dos mesmos.

Dessa forma, observa-se a necessidade de medidas que visem solucionar o problema de drenagem na Avenida dos Africanos, por meio de um novo projeto que atenda a toda vazão contribuinte pelas duas bacias hidrográficas ali localizadas, onde sugere-se o projeto apresentado em constam a padronização das sarjetas, das bocas de lobo e a determinação do diâmetro e localização da galeria coletora de água pluvial, que também não pode ser considerada como única solução ou a solução mais adequada, uma vez que toda e qualquer obra hidráulica pode apresentar diversas concepções de projeto que vise a solução do problema, rapidez na implantação e a viabilidade econômica.

Portanto, para garantir determinadamente o correto escoamento da água pluvial que escoam nas duas bacias envolvidas na área, é necessário que haja um considerável investimento na elaboração de um projeto que apresente várias

concepções e a execução de uma obra que empregue soluções que não inviabilize a mobilidade de veículos e pessoas que transitam naquele local.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12266: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana.** Rio de Janeiro, 1992.

ALBRECHT, L. F. **Execução de drenagem e esgotamento de valas para assentamento de valas para assentamento de tubulações.** 2008. Disponível em: <
http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dmae/usu_doc/ns011_-_execucao_de_drenagem_e_esgotamento_de_valas_para_assentamento_de_tubulacoes.pdf>. Acesso em: 25 de dezembro de 2017.

ALCOFORADO, Roberta Guedes; GÓES, Valéria Camboim; ESCARIÃO, Rodrigo Dutra; CIRILO, Jose Almir. **Aplicações do geoprocessamento ao estudo da macrodrenagem da zona costeira de recife.** 2003. Disponível em: <
http://www.abequa.org.br/trabalhos/sensoriamento_369.pdf>. Acesso em 16 de dezembro de 2017.

ARCHELA, Rosely Sampaio; THÉRY, Harvé. **Orientação metodológica para construção e leitura de mapas temáticas.** 2008. Disponível em: <
http://www.uel.br/cce/geo/didatico/omar/orientacao_metodologica.pdf>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sulvie. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana.** 1 ed. Porto Alegre. ABRH. 2005. 266 p.

BERNUCCI, L. B.; CERATTI, J. A. P.; MOTTA, L. M. G.; SOARES, J. B. **Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros.** 1 ed. Rio de Janeiro. Inclui Biografias. 2008. 504 p.

BORGES, Murilo Pereira; CRUVINEL, Abel da Silva; FLORES, Willian Menezes Ferreira; BARBOSA, Gustavo Rodrigues. **Utilização de técnicas de geoprocessamento para a elaboração de cotas de inundações: estudo de caso do parque ecológico do rio Paranaíba.** 2015. Disponível em: <
<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2015/files/p1215.pdf>>. Acesso em 05 de outubro de 2017.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos. **Água de chuva: engenharia das águas pluviais nas cidades.** 3 ed. São Paulo. Blucher. 2011. 297 p.

BRASIL. **Estatuto da Cidade.** Lei nº 10.257, de 10 julho de 2001. Disponível em: <
http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LEIS_2001/L10257.htm>. Acesso em 13 de junho de 2018.

CAMPOS, Alcinei Ribeiro; SANTOS, Glenio Guimarães; ANJOS, João Carlos Rocha dos; ZAMBONI Diane Cristina Stefanoski; MORAES, Jaurene Moura Fé. **Equações de intensidade de chuvas para o estado do Maranhão.** 2015. Disponível em: <
<http://www.seer.ufv.br/seer/index.php/reveng/article/view/597/403>>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

CANÇADO, Vanessa Lucena. **Consequências econômicas das inundações e vulnerabilidade: desenvolvimento de metodologia para avaliação do impacto nos domicílios e na cidade.** 2009. Disponível em: <<http://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/245D.PDF>>. Acesso em: 19 de março de 2018.

CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem e controle de enchentes.** 1 ed. São Paulo. Oficina de Textos. 2005. 300 p.

COLOMBELLI, Karina; MEDES, Rodrigo. **Determinação dos parâmetros da equação de chuvas intensas para o município de Videira, SC.** 2013. Disponível em: <https://editora.unoesc.edu.br/index.php/acet/article/viewFile/3708/pdf_5>. Acesso em: 08 de novembro de 2017.

CORDOVEZ, J. C. G. **Geoprocessamento como ferramenta de gestão urbana.** 2002. Disponível em: <http://www.cpatc.embrapa.br/labgeo/srgsr1/pdfs/pa_pu_01.PDF>. Acesso em: 29 de dezembro de 2017.

CRUZ, M. A. S.; TASSI, R.; ARNEZ, F. A.; ALASSIA, D. G. **Plano Diretor de Drenagem Urbana: manual de drenagem urbana.** 2015. Disponível em: <http://lproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf>. Acesso em: 18 de novembro de 2017.

DAL-PRÁ, Leoni Lúcia. **Drenagem Urbana.** 2016. Disponível em: <<http://177.92.30.55/ws/wp-content/uploads/2016/12/drenagem-urbana.pdf>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

DANIELA, Sara. **Inundações.** 2010. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/SaraDaniela1/inundaes-5992849>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2017.

DIAS, Fernanda Spitz; ANTUNES, Patrícia Tainá da Silva Correa. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos.** 2010. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000312.pd>>. Acesso em: 12 de setembro de 2017.

DIDOMENICO, A.; SARAPIO, N.; BECKER, S. C.; SEGALA, G. B. O.; ZANOTTI, S.; POLLI, L. H. **Especificações técnicas para padronização de obras.** 2015. Disponível em: <https://www.caxias.rs.gov.br/_uploads/recursos_humanos/ApostilaEspecificacoesTecnicas-PadronizacaodeObras.pdf>. Acesso em: 25 de dezembro de 2017.

DUARTE, Mauro Alonso; LEMOS, Alvaro Alfredo da Silva; GOMES, Antônio Humberto Porto. **Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana.** 2010. Disponível em: <<http://www.rio.rj.gov.br/web/rio-aguas/licenciamento-de-projetos-particulares-de-drenagem>>. Acesso em: 17 de outubro de 2017.

DUARTE, Romero Meyrelles. **Geoprocessamento no Planejamento Urbano**. 2010. Disponível em: < <http://mundogeo.com/blog/2010/12/15/geoprocessamento-no-planejamento-urbano/>>. Acesso em 16 de dezembro de 2017.

FILHO, Frederico Carlos Martins de; COSTA, Alfredo Ribeiro da. **Sistemática de cálculo para o dimensionamento de galerias de águas pluviais: uma abordagem alternativa**. 2012. Disponível em: < <https://revistas.ufg.br/reec/article/view/18162/11292>>. Acesso em: 07 de novembro de 2017.

FILHO, Jônatas Guerzoni. **Metodologia para determinação de volume de detenção em pequenas bacias urbanas: o caso do córrego wenzel, rio claro/sp**. 2014. Disponível em: < <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/119368/000800817.pdf?sequencia=1>>. Acesso em 18 de abril de 2018.

HIROSHI. **Hidrologia e Drenagem**. 2003. Disponível em: < <https://pt.scribd.com/document/70951336/Hidrologia-Drenagem-Apostila>>. Acesso: 12 de outubro de 2017.

GEROLLA, Giovanny. **Saneamento – Drenagem de lotes urbanos**. 2011. Disponível em: < <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/4/drenagem-de-lotes-urbanos-220132-1.aspx>>. Acesso em: 27 de dezembro de 2017.

GIMENEZ, Alírio Brasil. **Rede de drenagem pluvial eficiente pode evitar enchentes**. 2014. Disponível em: < https://www.aecweb.com.br/cont/m/rev/rede-de-drenagem-pluvial-eficiente-pode-evitar-enchentes_10832_0_1>. Acesso em 05 de junho de 2018.

GONTIJO, P. R. A.; BIRMAN, S.; MIRANDA, J. C.; SILVA, G. A. **Manual de Drenagem de Rodovias**. 2 Ed. Rio de Janeiro. IPR Publicações. 2006. 304 p.

JÚNIOR, Cláudio Bielenki; BARBASSA, Ademir Paceli. **Geoprocessamento e Recursos Hídricos**. 1 Ed. São Carlos. EdUFSCar. 2012. 257 p.

JUNIOR, Carlos Ruberto Fragoso. **Introdução à Cartografia e Geoprocessamento**. 2017. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/42549299272/aula-01-noes-de-cartografia-e-geoprocessamento>>. Acesso em 04 de outubro de 2017.

JUNIOR, Wender. **Geoprocessamento e Mapas**. 2013. Disponível em: <<https://pt.slideshare.net/wander505/geoprocessamento-e-mapas>>. Acesso em: 04 de outubro de 2017.

KOBAYASHI, F. Y.; FAGGION, F. H. M.; BOSCO, L. M. D.; CHIRINÉA, M. L. B. **Drenagem urbana sustentável**. 2008. Disponível em: < www.pha.poli.usp.br/LeArq.aspx?id_arq=3040>. Acesso em: 29 de dezembro de 2017.

MARTINS, Maria Lucia Refinetti Rodrigues. **Microdrenagem Urbana**. 2015. Disponível em: < http://www.fau.usp.br/arquivos/disciplinas/au/aut0192/Aula_aut-0192-microdrenagem.pdf>. Acesso em: 29 de maio de 2018.

MILHOMEM, Renato. **Definição de Micro e Macrodrenagem Urbana**. 2012. Disponível em: < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAABdXEAI/aula-2-definicao-micro-macrodrenagem-urbana>>. Acesso em: 05 de novembro de 2017.

MORAES, Alexandre Perri de. **Dimensionamento de Microdrenagem**. 2015. Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/10180166/>>. Acesso: 03 de outubro de 2017.

MORAES, Alexandre Perri de. **Procedimentos técnicos de dimensionamento da microdrenagem do município de Santos André**. 2015. Disponível em: < <http://www.trabalhosasemae.com.br/sistema/repositorio/2015/1/trabalhos/99/118/t118t4e1a2015.pdf>>. Acesso em: 19 de outubro de 2017.

NAKAMURA, Juliana. **Fundações e contenções**. 2014. Disponível em:< <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/45/escoramento-de-valas-332706-1.aspx>>. Acesso em: 25 de dezembro de 2017.

NAKAMURA, Juliana. **Saneamento: bocas de lobo**. 2011. Disponível em: < <http://infraestruturaurbana17.pini.com.br/solucoes-tecnicas/8/2-bocas-de-lobo-como-planejar-o-posicionamento-das-239376-1.aspx>>. Acesso em 05 de junho de 2018.

NORMA DNIT 018/2004 – ES. **Drenagem – Sarjetas e valetas – Especificações de Serviço**. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/arquivos_internet/ipr/ipr_new/normas/dnit018_2004_es.pdf> . Acesso em: 06 de abril de 2018.

NORMA TÉCNICA SABESP. **NTS 025: Projeto de redes coletoras de esgotos**. São Paulo, 2006.

PAULA, Herber Martins de. **Drenagem Urbana**. 2013. Disponível em: < <https://pt.slideshare.net/joseluispradosanchez/aula-8-drenagem-urbana>>. Acesso em: 15 de novembro de 2017.

PENA, Rodolfo F. Alves. **Enchentes**. 2014. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/enchentes.htm>>. Acesso em: 28 de dezembro de 2017.

PINTO, Luiza Helena; PINHEIRO, Sérgio Avelino. **Orientações básicas para drenagem urbana**. 1 Ed. Belo Horizonte. FEAM. 2006. 30 p.

PORTO, Rodrigo de Melo. **Hidráulica básica**. 4 Ed. São Carlos – SP. Projeto REENGE. 2006. 540 p.

PRUSKI, Fernando Falcão; BRANDÃO, Viviane dos Santos; SILVA, Demetrius David da. **Escoamento Superficial**. 2 Ed. Viçosa. Editora UFV. 2010. 87 p.

RAMOS, Carlos Lloret; BARROS, Mário Thadeu Leme de; PALOS, José Carlos Francisco. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** 1999. Disponível em: <http://www.fau.usp.br/docentes/deptecnologia/r_toledo/3textos/07drenag/dren-sp.pdf>. Acesso em: 11 de outubro de 2017.

RIBEIRO, R. A.; AYMONE, J. L.F.; SIMONE, Z. L. **Aplicação do geoprocessamento no estudo da impermeabilidade urbana.** 2006. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/34958/000630951.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06 de outubro de 2017.

SILVA, Cláudio Santos. **Inundações em Pelotas/RS: o uso do geoprocessamento no planejamento paisagístico e ambiental.** 2009. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/123456789/89718/1/256550.pdf>>. Acesso em: 06 de outubro de 2017.

SILVA, Jorge Xavier da. **O que é Geoprocessamento?** 2007. Disponível em: <<http://www.ufrjr.br/lga/tiagomarin/artigos/oqueegeoprocessamento.pdf>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

SOUSA, Luís Moreira De; NERY, Fernanda; MATOS, João. **Metodologias de Processamento de dados SRTM para produção de Modelos Digitais de Direcções de Escoamento.** 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259356951_Metodologias_de_Processamento_de_dados_SRTM_para_a_producao_de_Modelos_Digitais_de_Direccoes_de_Escoamento>. Acesso em 16 de junho de 2018.

STEFFEN, Jorge Luiz; RONDON, Manoel Afonso Costa. **Determinação da vazão de projeto em bacias urbanas.** 2000. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/x-010.pdf>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

ALVES, Alessandro de Oliveira. **UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E DO MUCURI: sistema de Drenagem de Águas Pluviais: memorial descritivo de procedimentos e especificações técnicas.** 2013. Disponível em: <http://ufvjm.edu.br/licitacoes/home/doc_view/4290-.html>. Acesso em: 29 de novembro de 2017.

TEIXEIRA, Suzane Naiara. **Sistema de drenagem urbana: estudo de caso para a macrodrenagem do município de Arcos – MG.** 2014. Disponível em: <<https://repositorioinstitucional.uniformg.edu.br:21074/xmlui/handle/123456789/271>>. Acesso em: 12 de setembro de 2017.

TEODORO, Paulo Eduardo. **Geoprocessamento e sua importância na engenharia.** 2012. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/porta/palavra-do-leitor/1291-geoprocessamento-e-sua-importancia-na-engenharia>>. Acesso em 16 de dezembro de 2017.

TOMAZ, Plínio. **Método Racional**. 2013. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo02.pdf>. Acesso em: 23 de maio de 2018.

TOMAZ, Plínio. **Microdrenagem**. 2013. Disponível: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo05Microdrenagem.pdf>. Acesso: 13 de novembro de 2017.

TOMAZ, Plínio. **Tempo de Concentração**. 2013. Disponível: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_calculoshidrolicos/capitulo04.pdf>. Acesso: 09 de maio de 2018.

TOMAZ, Plínio. **Período de retorno**. 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_metodo_calculos_vazao/capitulo03.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2018.

VALENTE, Jakeliny Alves. **Análise e considerações para o sistema de drenagem de água pluvial em um loteamento na cidade de Catalão – GO**. 2013. Disponível em: <https://deciv.catalao.ufg.br/up/620/o/TCC_-_Jakeliny_Alves_Valente.pdf>. Acesso em 29 de dezembro de 2017.

VEM TE CHOW. **Open – Channel Hydraulics**. McGraw Hill Book, Inc. New Jersey. 1959. 287 p.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. 2. ed. São Paulo: Atlas S.A, 1998. 89 p.

WATANABE, Roberto Massaru. **Área de contribuição**. 2009. Disponível em: <<http://www.ebanataw.com.br/drenagem/area.htm>>. Acesso em: 16 de dezembro de 2017.

ANEXOS

Anexo 1 – Planta topográfica da área de estudo



Fonte: Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão – CAEMA.