



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

NATHÁLIA LAISE SOARES GAMA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA: PISTA LESTE DA AVENIDA
TEOTÔNIO SEGURADO, ENTRE A AV. LO 13 E A AV. LO 15 – PALMAS, TO**

**PALMAS
2019**

NATHÁLIA LAISE SOARES GAMA

**ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA: PISTA LESTE DA AVENIDA
TEOTÔNIO SEGURADO, ENTRE A AV. LO 13 E A AV. LO 15 – PALMAS, TO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenharia Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Me. Danilo G. Martins

Coorientador: Eng.Civil James de Sousa.

**PALMAS
2019**

Gama, Nathália Laise Soares

Análise do Sistema de Drenagem Urbana: Pista Leste da Avenida Teotônio Segurado, entre a Avenida LO 13 e a Avenida LO 15 – Palmas, TO. / Nathália Laise Soares Gama. – Palmas, 2019. 90f.

Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Instituto Federal de Educação, ciência e Tecnologia do Tocantins – Campus Palmas, 2019.

Orientador: Prof. Me. Danilo Gomes Martins.
Coorientador: Eng.Civil James de Sousa.

1. Drenagem Urbana. 2. Bocas de Lobo. 3. Vazão de contribuição. 4. Escoamento Superficial. I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

NATHÁLIA LAISE SOARES GAMA

**Análise do Sistema de Drenagem Urbana: Pista Leste da Avenida Teotônio
Segurado, entre a Avenida LO 13 e a Avenida LO 15 – Palmas, TO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins - Campus Palmas, como exigência à obtenção do grau em Engenharia Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof. Me. Danilo Gomes Martins (Orientador)
IFTO – Campus Palmas

Eng.Civil James de Sousa (Coorientador)

Prof. Me. Clerson Dalvani Reis
IFTO – Campus Gurupi

Prof. Me. Octaviano Sidnei Furtado
IFTO – Campus Palmas

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo cuidado ao longo desta jornada e por nunca me abandonar mesmo diante os dias mais sombrios.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Me. Danilo Gomes Martins, primeiramente por aceitar o desafio mediante prazos absurdos, e pela compreensão, dedicação e auxílio durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu coorientador e amigo, Eng. Civil James de Sousa, por toda a dedicação e empenho nas correções incansáveis deste trabalho, pela paciência, e por não me deixar desistir quando tudo pareceu desabar.

Deixo aqui também meus sinceros agradecimentos à banca examinadora, Prof. Me. Clerson Dalvani Reis e Prof. Me. Octaviano Sidnei Furtado, pela disponibilidade e contribuições para com o trabalho.

Às mulheres da minha vida, Marcilene Soares e Bianca Murielle, que sempre me cercaram de muito amor e me suportaram durante a execução do presente trabalho.

À minha avó, que sentiu a minha ausência, e foi compreensiva, durante toda a jornada desta graduação.

Agradeço, em especial, a todos os professores do Curso de Engenharia do IFTO – Campus Palmas que me ensinaram, cada um a seu tempo e sua maneira, aquilo que fará de mim uma engenheira civil capacitada para vencer os desafios da profissão.

Por último, mas não menos importante, meu agradecimento aos meus amigos do IFTO – Campus Palmas, em especial a Fernanda Carvalho, Syntia Bispo, Jessievane Jarder, Joyce Farias e Vinicius Nunes. Vocês, sem dúvidas, tornaram essa caminhada mais fácil.

RESUMO

GAMA, Nathália Laise Soares. **ANÁLISE DO SISTEMA DE DRENAGEM URBANA: PISTA LESTE DA AVENIDA TEOTÔNIO SEGURADO, ENTRE A AVENIDA LO 13 E A AVENIDA LO 15 – PALMAS, TO.** 2019. 90f. Trabalho de Conclusão de Curso – Bacharel em Engenharia Civil – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Palmas, 2019.

O aumento da impermeabilização do solo devido à expansão urbana vem causando maiores vazões de escoamento e consequentemente um maior número de inundações. No município de Palmas a situação é a mesma de diversas cidades brasileiras, apresentando diferentes pontos de inundação e alagamentos. O objetivo deste trabalho é analisar a pista leste da Av. Teotônio Segurado, próxima à estação de coletivo Krahô, identificando as causas e possíveis medidas para sanar o problema de acúmulo de água no local. No intuito de obter informações mais precisas, foram realizadas visitas ao trecho para verificar as condições de limpeza urbana, além de fazer o levantamento das dimensões das bocas de lobo. Baseado nos dados levantados em campo, juntamente com arquivos disponibilizados pela Prefeitura, delimitou-se as bacias de contribuições, calculando as vazões de escoamentos e as vazões máximas de captação das bocas de lobo. Concluiu-se com a análise das bocas de lobo que elas estão subdimensionadas e apresentam incompatibilidade com o atual desenvolvimento urbano local. Sendo assim, foi necessário realizar um novo dimensionamento da rede de drenagem. Além disso, sugere-se a implantação de medidas não-estruturais de controle na fonte para diminuir a vazão do escoamento superficial.

Palavras-chaves: Drenagem Urbana; Bocas de lobo; Vazão de contribuição, Escoamento superficial.

ABSTRACT

GAMA, Nathália Laise Soares. **URBAN DRAINAGE SYSTEM ANALYSIS: TEOTONIO SEGURADO'S EAST LANE, BETWEEN LO 13 AVENUE AND LO 15 AVENUE - PALMAS, TO.** 2019. 91p. Undergraduate thesis - Civil Engineering Bachelor - Federal Institute of Education Science and Technology of Tocantins, Palmas, 2019.

The increase of soil's impermeabilization due to urban expansion already been causing bigger drainage outflow and therefore a number of inundations. In the city of Palmas the situation is the same of various other Brazilian cities, showing several inundation and floods spots. This paper's objective is to analyze the Teotônio Segurado's east lane, next to Kraho's bus station, identifying the causes and potentials measures to solve the problem of water congestion at that place. In order to obtain more accurate information, visits at the area where performed to verify the urban cleaning requirements, in addition to do the dimensions survey of the storm drains. Based in the surveyed data at field, combined to released data by the city hall, the watershed's contributions where delimited, calculating the water runoff flow and the maximum storm drains' capacity flow. With the analyze of the storm drains, it was concluded that they are undersized and shows mismatches to the current urban development. Therefore, it was necessary to realize a new sizing to the drainage system. Also, it is suggested the implementation of non-structural control measures by the source to reduce the superficial drainage outflow.

.
Keywords: Urban drainage; Storms drains; Outflow contribution; Superficial drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Entrada de Estacionamento na Av. Teotônio Segurado.....	18
Figura 2 - Veículo danificado em alagamento.	18
Figura 3 - Ciclo de drenagem	21
Figura 4 - Bacia hidrográfica.....	22
Figura 5 - Área contribuinte para a bacia urbana	23
Figura 6 - Estação Meteorológica Automática "Palmas A009"	24
Figura 7 - Transformação da área rural em área urbana.....	29
Figura 8 - Sarjeta.....	31
Figura 9 – Seção transversal da sarjeta	31
Figura 10 - Tipos de boca de lobo	32
Figura 11 - BL múltipla Av. Teotônio Segurado	33
Figura 12 - BL múltipla combinada com depressão Av. Teotônio Segurado	33
Figura 13 - Poço de visita, cortes	34
Figura 14 – Caixa de passagem em alvenaria	35
Figura 15 - Seção transversal de rede tubular.....	36
Figura 16 - Área de contribuição de sub-bacia urbana.....	38
Figura 17 - Dimensionamento da sarjeta.....	40
Figura 18 - Localização de Palmas, Tocantins	44
Figura 19 – Localização da área de estudo.....	45
Figura 20 - Av. Teotônio Segurado, trecho de estudo	45
Figura 21 - Av. Teotônio Segurado.....	46
Figura 22 - Pontos de inundações em Palmas	47
Figura 23 - Evento 1	50
Figura 24 - Evento 2	50
Figura 25 - Evento 3	50
Figura 26 - Evento 4	50
Figura 28 - Evento 6	50
Figura 29 - Evento 7	51
Figura 27 - Evento 5	50
Figura 30 - Evento 8	51

Figura 31 - Evento 9	51
Figura 32 - Evento 10	51
Figura 33 - Evento 11	51
Figura 34 - Sistema de drenagem da Av. Teotônio Segurado	52
Figura 35 - Posicionamento dos elementos de drenagem da Av. Teotônio Segurado	54
Figura 36 – Planta de caracterização da superfície	55
Figura 37 - Planta topográfica	56
Figura 38 - Perfil da borda leste do trecho de estudo	56
Figura 39 – Delimitação da bacia de contribuição	56
Figura 40 - Locação da Microdrenagem e Macrodrenagem	57
Figura 41 - Seção transversal do ramal do BL 04	61
Figura 42 – Perspectiva do BL 07	61
Figura 43 - Caixa coletora do BL 05	61
Figura 44 - Caixa coletora do BL 04	62
Figura 45 - Presença de lixo na caixa coletora	62
Figura 46 - Boca de lobo de guia limpa	63
Figura 47 - Intercepção da boca de lobo	64
Figura 48 - Intercepção de ramais coletores	64
Figura 49 – Vista superior do PV 01	65
Figura 50 - Vista interna do PV 01	65
Figura 51 - Caixa de drenagem simples	66
Figura 52 – Tubulação PVC Ø150mm deteriorada	66
Figura 53 - Perfil da borda leste e locação das bocas de lobo	68
Figura 54 – Sub-bacias de contribuição	70
Figura 55 - Sub-bacias para dimensionamento	72
Figura 56 - Boca de lobo combinada	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tempo de recorrência.....	26
Tabela 2 - Parâmetros para equação de determinação da intensidade máxima média de precipitação	37
Tabela 3 - Coeficiente de deflúvio de acordo com a superfície, em relação ao tempo de retorno	39
Tabela 4 - Alguns valores do coeficiente de rugosidade de manning	42

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Dados de alagamentos	49
Quadro 2 - Nível do terreno na seção transversal da pista	67
Quadro 3 - Dimensões das bocas de lobo	68
Quadro 4 - Vazão total da bacia de contribuição	68
Quadro 5 - Vazão de máxima de engolimento das bocas de lobo	69
Quadro 6 - Comparativo de vazões	69
Quadro 7 - Vazão de engolimento das bocas de lobo com fator de redução	69
Quadro 8 - Comparação de vazões individuais por boca de lobo	71
Quadro 9 - Verificação do ramais coletores.....	71
Quadro 10 - Dimensionamento dos ramais	73
Quadro 11 - Dimensionamento das bocas de lobo.....	74
Quadro 12 - Dimensões para as bocas de lobo	74

LISTA DE SIGLAS

SUDERHSA – SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS
HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA

IDF – INTENSIDADE, DURAÇÃO, FREQUÊNCIA

DNIT – O DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE
TRANSPORTES

SEISP – SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E SERVIÇOS PÚBLICOS DE
PALMAS

INMET - INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA

CAD – COMPUTER AIDED DESIGN

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Problema de Pesquisa.....	16
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	18
1.3.1	Objetivo geral.....	18
1.3.2	Objetivo específico	19
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
2.1	Hidrologia	20
2.1.1	Ciclo Hidrológico	20
2.1.2	Bacia Hidrográfica	22
2.1.3	Bacias urbanas	23
2.1.4	Precipitação	24
2.1.5	Tempo de Recorrência	26
2.1.6	Tempo de Concentração	26
2.1.7	Escoamento Superficial	27
2.1.8	Interceptação	27
2.1.9	Infiltração	27
2.2	Espaço Urbano	28
2.3	Sistema de Drenagem Urbana	30
2.3.1	Sarjetas.....	31
2.3.2	Boca de lobo	32
2.3.3	Poços de visitas	33
2.3.4	Ramais.....	35
2.4	Projeto de drenagem	36
2.4.1	Equação das chuvas.....	36
2.4.2	Bacia de contribuição.....	37
2.4.3	Tempo de concentração da bacia de contribuição	38
2.4.4	Vazão para bacia de contribuição.....	38
2.4.5	Coeficiente de deflúvio.....	39
2.4.6	Declividade lateral das ruas.....	40
2.4.7	Sarjetas.....	40
2.4.8	Boca de lobo	41

2.4.9	Tubulação	42
3	ÁREA DE ESTUDO	43
3.1	Localização e aspectos físicos de Palmas – TO	43
3.2	Avenida Teotônio Segurado	44
3.3	Alagamentos na cidade de Palmas	46
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
4.1	Coleta e formação de banco de dados	49
4.1.1	Dados pluviométricos.....	49
4.1.2	Levantamento documental.....	52
4.2	Inspeção da rede de drenagem	53
4.3	Caracterização do local de análise	55
4.4	Vazões ocorridas	57
4.5	Dimensionamento	59
5	ANÁLISES E RESULTADOS	61
5.1	Inspeção de elementos da rede de drenagem	61
5.2	Análise topográfica	67
5.3	Eficiência das bocas de lobo	68
5.3.1	Análise geral	68
5.3.2	Análise individual	70
5.3.3	Análise da tubulação coletora.....	71
5.4	Dimensionamento para a rede de drenagem	72
5.4.1	Novo dimensionamento	72
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
6.1	Análise conclusiva	75
6.2	Propostas de ações mitigadoras	76
6.3	Sugestões de trabalhos futuros	77
	REFERÊNCIAS	78
	APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE	82
	APÊNDICE B – SUB-BACIAS DE CONTRIBUIÇÕES	84
	APÊNDICE C – PROJETO DA REDE DE DRENAGEM ELABORADO SEGUNDO O DIMENSIONAMENTO DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO	86
	ANEXO A – PLANTA TOPOGRÁFICA E PERFIL DA ÁREA ANALISADA	88
	ANEXO B – CADASTRO GERAL DE DRENAGEM URBANA DE PALMAS – TO ...	90

1 INTRODUÇÃO

O acúmulo de água sobre o solo pode resultar em grandes transtornos e perigos para os usuários e moradores, podendo até colocar suas vidas em risco. Desde os primórdios da civilização humana, o homem sempre buscou locais para moradias próximos de rios e lagos, desde que esses locais apresentassem características físicas apropriadas para o assentamento humano, a fim de utilizá-lo como fonte de água para o consumo, transporte e até para dispor de seus dejetos (LOHMANN, 2013).

Antes da intervenção humana, as áreas eram cobertas de vegetação e rica em presença de cursos d'água, resultado de anos de transformação provenientes de ações climáticas, moldada por ventos, chuvas e intempéries (BOTELHO, 2011). Contudo, diante a evolução humana as terras ocupadas começaram a transforma-se em cidades, passaram a ter suas terras divididas, setorizadas, urbanizadas, e cada vez mais povoadas, com isso gerando um grande desequilíbrio ambiental.

No processo de urbanização de uma cidade ocorrem diversas intervenções humanas que desenvolvem a infraestrutura do local. A fim de proporcionar condições básicas de moradias criam-se loteamentos, bairros, parques, ruas, estacionamentos, passeios etc. Entretanto, isso ocasiona uma série de impactos ambientais visto que outrora não havia naquele local nada além de fauna e flora. Diante disso surge uma nova situação ambiental, onde se alteram as condições climáticas, as características do solo e a qualidade dos ciclos hídricos (ARAÚJO, TUCCI, GOLDENFUM, 2000).

Com o aumento da densidade de ocupação do solo por construções de moradias, e obras de infraestruturas viárias, criam-se maiores áreas impermeáveis e maiores vazões pluviais, dificultando o escoamento natural da água da chuva através solo. Isso significa que a parcela da água das chuvas que anteriormente infiltravam no solo, após a queda, agora corre pela superfície sem poder se infiltrar, devido à impermeabilização consequente da urbanização (BOTELHO, 2011).

Mediante essas atividades impactantes, se não forem tomadas providências poderão acontecer erosões nos terrenos, alta velocidade da água da chuva nas ruas que podem danificar o pavimento, geração de pontos baixos onde se acumularão água ocasionando empoçamentos e alagamentos nas vias de

mobilidade urbana, resultando em contratempos no trânsito e impossibilidade de locomoção tanto de veículos como de pedestres. Diante disto surge à necessidade de desenvolver métodos que auxiliam o escoamento superficial das águas da chuva de forma controlada, a fim de evitar transtornos aos habitantes, de modo que o pavimento fique disponível para utilização mesmo em dias chuvosos.

Os sistemas de drenagem vêm justamente para satisfazer esses problemas, são utilizadas técnicas de engenharia para criar um escoamento superficial de toda água da chuva que tiveram seu percurso natural interferido pela ocupação territorial. Para tal, utiliza-se como aliado a declividade do terreno natural, equipamentos e instalações que possam conduzir, captar e transportar essa água, o mais rápido possível, até o destino final adequado de forma a mitigar impactos ambientais, e paralelamente a população (DNIT, 2005).

Os problemas referentes à drenagem urbana estão entre os que são facilmente evidenciados pela população em eventos de chuvas intensas. Este tema é bastante presente no nosso dia a dia, visto que atinge diretamente a população palmense, já que a cidade de Palmas, capital do Tocantins, possui o regime de chuvas bem caracterizado por duas situações climáticas, estação chuvosa, onde há ocorrência de grandes precipitações em curtos períodos de tempo, e a estação de estiagem, onde dificilmente chove (PMP, 2014).

Nesse contexto, foi escolhida a Avenida Teotônio Segurado para análise do seu sistema de drenagem urbana, trecho delimitado pela Avenida LO 13 e a Avenida LO 15. A escolha deste se justifica pelos problemas incidentes que ocorrem com alta frequência nesta região, levando em consideração que essa recebe diariamente grande fluxo de veículos e pedestres.

1.1 Problema de Pesquisa

Devido o acontecimento de chuva ocorrem alagamentos em alguns pontos da cidade de Palmas - TO. Considerando a existência do sistema de rede de drenagem na Av. Teotônio Segurado, levantam-se alguns questionamentos: Porque ocorrem alagamentos no trecho entre a Avenida LO 13 e Avenida LO 15? E porque esse alagamento persiste mesmo após o término da chuva por períodos considerados longos?

1.2 Justificativa

A Avenida Teotônio Segurado é uma das principais vias de acesso rápido que ligam a cidade de norte a sul, consequentemente possui um grande fluxo de veículos, incluindo o sistema de transporte público municipal, acarretando assim uma grande concentração de pedestres próximos às estações de ônibus. Devido ao constante número de alagamentos na pista leste do trecho entre a Av. LO 13 e Av. LO 15, frequente nos períodos chuvosos (Figura 1), essa pesquisa se justifica através da análise da rede de drenagem existente, a fim de encontrar os possíveis causadores que dificultam o escoamento superficial das águas pluviais.

Os sistemas de infraestrutura por muitas vezes passam despercebidos à população. No entanto, diferentes desses, o sistema de drenagem urbana é perceptível à população quanto à sua situação deficitária, pois em eventos de chuvas intensas são notados pelos transtornos causados aos habitantes.

Quando a precipitação é maior que a capacidade de escoamento superficial, ocorrem os alagamentos, e consequentemente acarretam em prejuízos, provocando danos aos veículos (Figura 2), ao pavimento e as construções próximas, podendo ainda impossibilitar a locomoção dos carros e pedestres, expondo suas vidas à perigo, visto que inundações podem esconder buracos e depressões elevando os riscos de acidentes aos habitantes, assim como a proliferação de doenças de veiculação hídrica.

O trecho de estudo possui sistema pluvial, porém, como tantos outros pontos da cidade, apresenta ocorrência de alagamentos e inundações. Em cima disso podem-se questionar as possíveis fontes geradoras desses problemas, encontrar uma solução, uma vez que a rede de drenagem vem justamente para sanar tal situação.

Sob um ponto de vista profissional, se aprofundar na solução de problemas de drenagem urbana como os que os municípios têm enfrentado é de grande importância, pois o tema abordado não é apenas a realidade da região, já que vários lugares no país têm enfrentado problemas similares.

Figura 1 – Entrada de Estacionamento na Av. Teotônio Segurado



Fonte: Autor (2019)

Figura 2 - Veículo danificado em alagamento.



Fonte: Autor (2019).

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

Analisar as condições do sistema de drenagem urbana de águas pluviais da Avenida Teotônio Segurado, referente sua pista leste, no intervalo entre a Avenida LO 13 e a Avenida LO 15, e propor ações que possam mitigar os problemas de alagamento.

1.3.2 Objetivo específico

- a) Analisar os dados históricos de inundações da região de estudo;
- b) Comparar a vazão da bacia de contribuição em relação à vazão de captação das bocas de lobo.
- c) Realizar o dimensionamento para a rede drenagem.
- d) Propor ações estruturais e não-estruturais que possam mitigar os problemas de alagamento.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Hidrologia

Hidrologia é a ciência que estuda a água na Natureza, abrangendo propriedades, fenômenos e distribuição de água na atmosfera, na superfície da Terra e no subsolo. Sua importância é facilmente compreendida quando se considera o papel da água na vida humana. Ainda que os fenômenos hidrológicos mais comuns, como as chuvas e o escoamento dos rios, possam parecer suficientemente conhecidos, devido à frequência com que se ocorrem, basta lembrar os efeitos catastróficos das grandes cheias e estiagens para constatar o domínio inadequado dos seres humanos sobre os recursos hídricos (PINTO et al, 1976).

A água pode ser encontrada em seu estado sólido, líquido ou gasoso, seja na atmosfera, na superfície terrestre, no subsolo ou em grandes volumes agrupados nos oceanos, mares e lagos. Em sua constante movimentação, configura o que se convencionou chamar de ciclo hidrológico, onde se altera o estado da matéria ou sua posição quanto à Terra, seguindo as linhas principais desse ciclo (precipitação, escoamento superficial ou subterrâneo, evaporação), mantendo no decorrer do tempo uma distribuição equilibrada (PINTO et al, 1976). Por fim tem-se a hidrologia de superfície que trata do escoamento superficial, ou seja, o movimento da água sobre o solo, com a finalidade de estudar os processos físicos referentes à precipitação, ao escoamento superficial e seu desenvolvimento sobre as áreas que compõem a bacia hidrográfica.

2.1.1 Ciclo Hidrológico

O ciclo hidrológico pode ser definido como um fenômeno de circulação fechada de água ao longo da superfície terrestre e da atmosfera (TUCCI, 2001). Se tratando da atmosfera a água está praticamente em toda sua totalidade na camada troposfera, onde ocorrem os fenômenos climáticos, já quando se referem à superfície terrestre a água se encontra no interior e na superfície dos solos, nos oceanos e nos seres vivos.

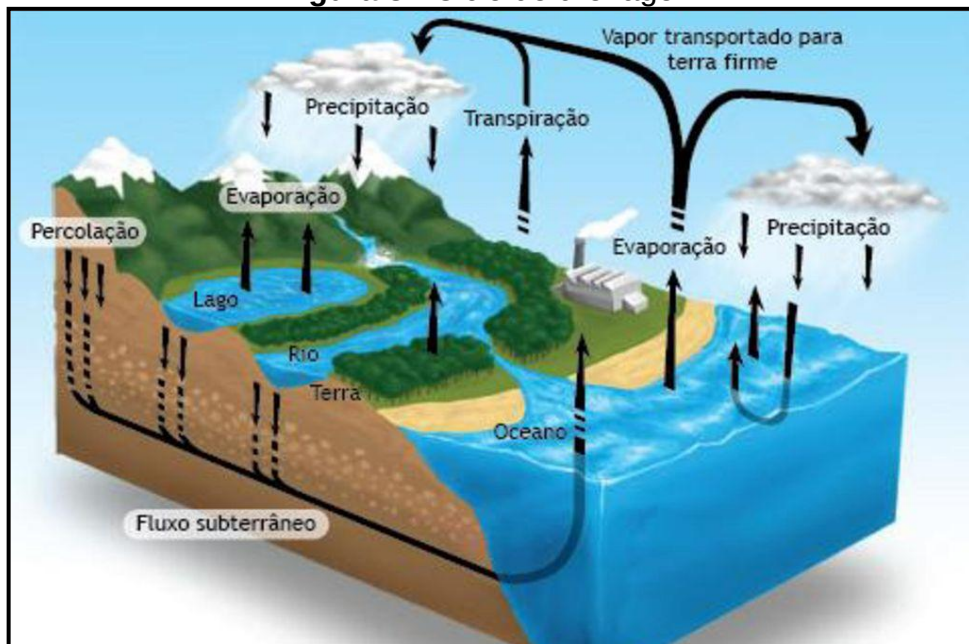
Quando na atmosfera, a água encontra-se em seu estado gasoso, mas a medida do resfriamento do ar esse vapor condensa formando gotículas de água, que aumentam de tamanho, ficando com um peso maior do que a força da gravidade

seria capaz de suportar e conseqüentemente se precipitam na forma de chuva (SANTOS, 2010). Durante essa queda as gotas de chuva podem evaporar, ou serem interceptadas pela vegetação e construções, posteriormente atingindo o solo.

A água, uma vez que atinge o solo, parte se infiltra, parte escoam sobre a superfície e outra evapora para a atmosfera. Tratando-se da água que infiltra no solo, uma parcela fica retida nele e outra parcela abastece os lençóis freáticos que realizam o escoamento subterrâneo, conhecido por escoamento de base, sendo este responsável pela alimentação do curso d'água durante o período de estiagem (CHOW, MAIDMENT, MAYS, 2010). No que tange a escoamento superficial, esse se dá quando a intensidade de precipitação ultrapassa a capacidade de infiltração do solo (PINTO et al., 1976). Esse escoamento preenche as depressões do terreno e em seguida inicia-se o escoamento efetivo, que naturalmente segue em direção aos cursos de água, que vão em direção a lagos e oceanos, geralmente concentrados na região mais baixa do terreno (CHOW, MAIDMENT, MAYS, 2010).

Os autores expõem que a água que evapora, dos oceanos e da superfície da terra, torna-se parte da atmosfera, sendo que esse vapor é transportado até condensar e precipitar voltando à superfície terrestre. Com isso o ciclo hidrológico não tem começo ou fim, pois existem diversos processos ocorrendo constantemente, formando um ciclo fechado da água (Figura 3).

Figura 3 - Ciclo de drenagem



Fonte: Google imagens (2014)

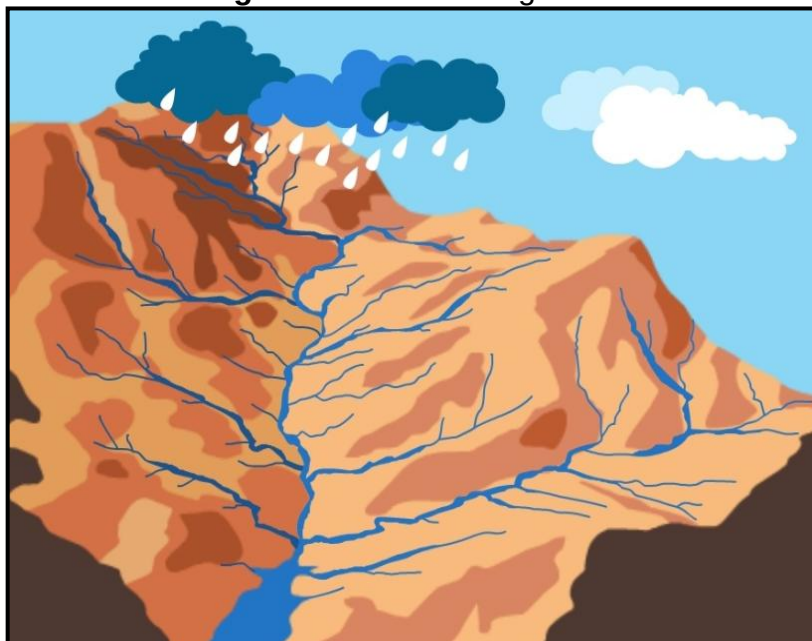
2.1.2 Bacia Hidrográfica

O ciclo hidrológico é normalmente estudado com maior interesse na fase terrestre, onde o elemento fundamental de análise é a bacia hidrográfica. A bacia hidrográfica é uma área de captação natural da água da precipitação conduzida para o ponto mais baixo da região, onde fica o exutório. É composta basicamente de um conjunto de superfícies vertentes de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório (SILVEIRA, 2001).

Ainda segundo Silveira (2001), a bacia hidrográfica pode ser definida como uma área delimitada pela topografia da região, através dos desníveis dos terrenos que direcionam os cursos da água, sempre das áreas mais alta para as mais baixas (Figura 4), drenada por um curso d'água ou vários cursos d'água, de forma tal que toda a vazão efluente seja descarregada por uma simples saída.

Todo curso d'água possui sua bacia hidrográfica, porém, alguns deles deságuam em outros rios, formando uma bacia hidrográfica maior. Com isso, a classificação das bacias se dá conforme sua grandeza (km²), ou seja, as bacias de maior grandeza englobam as bacias de menor grandeza. Para auxiliar na sua gestão e gerenciamento, o ideal é que a bacia hidrográfica seja, além de uma unidade geográfica, também a unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos, utilizando uma abordagem integrada, já que uma ação ocorrida na bacia interfere nela como um todo (VETIVER, 2018).

Figura 4 - Bacia hidrográfica.



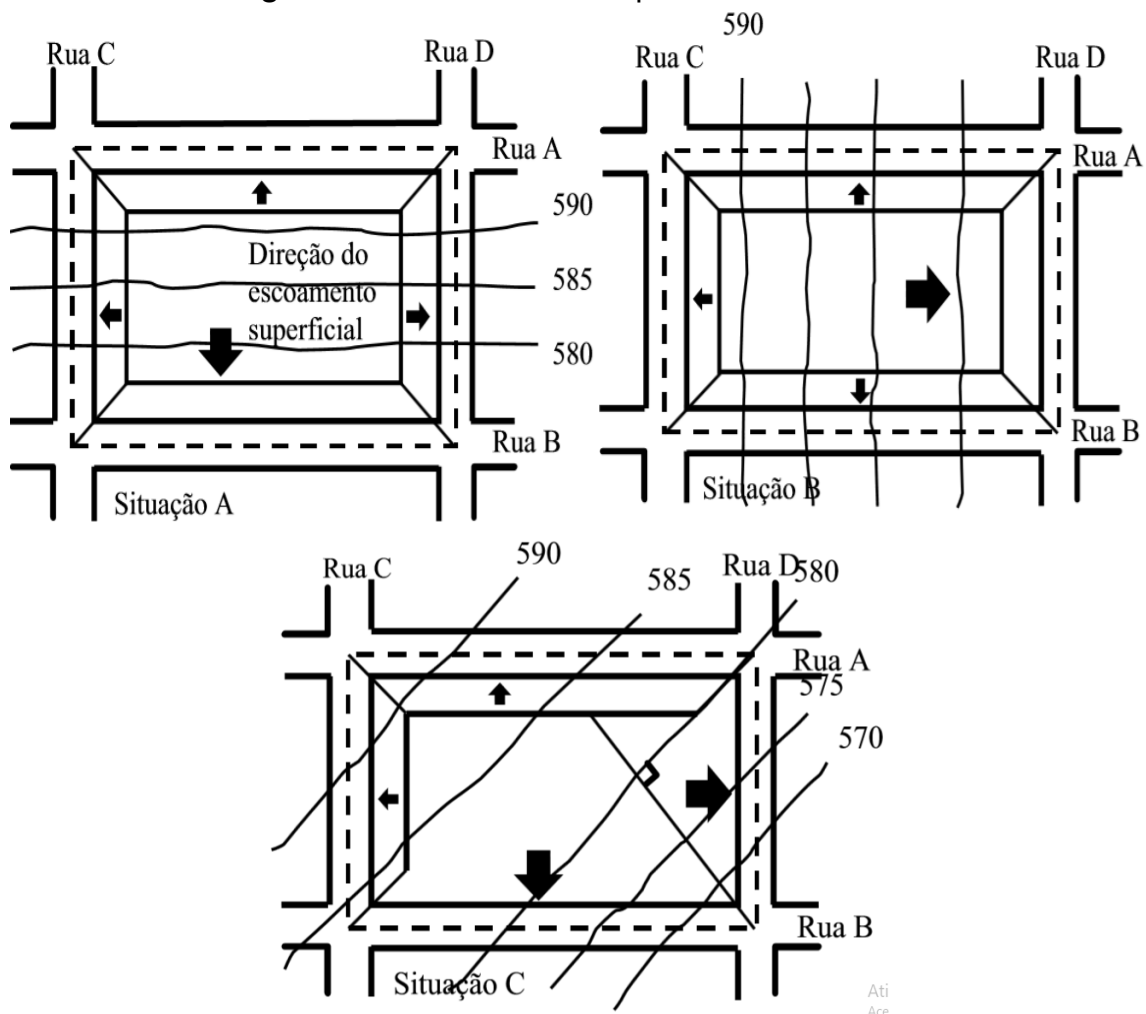
Fonte: VETIVER (2018)

2.1.3 Bacias urbanas

Uma bacia de contribuição, ou sub-bacia, ou ainda bacia urbana, pode ser descrita como uma área definida por um divisor de águas, que separa das bacias adjacentes e que contribui na coleta natural das águas pluviais pela superfície de escoamento. Em uma rede de drenagem, uma bacia é composta por cursos d'água, fazendo seguir diferentes escoamentos para um único ponto de coleta (TUCCI, 1995).

As áreas de contribuições, para Sistemas de Drenagem Urbana devem seguir os procedimentos e critérios mostrados na Figura 5, ou seja, deve obedecer primordialmente a declividade do terreno (FENDRICH et al.,1997, apud KURODA, 2016) .

Figura 5 - Área contribuinte para a bacia urbana



Fonte: Aisse (1997), apud Kuroda(2016)

2.1.4 Precipitação

A precipitação é entendida em hidrologia como toda a água proveniente do meio atmosférico que atinge a superfície terrestre. Neblina, chuva, granizo, saraiva, orvalho, geada e neve são formas diferentes de precipitações. A diferença entre essas precipitações é o estado em que a água se encontra (BERTONI & TUCCI, 2003). Segundo Holtz (1976), os fenômenos atmosféricos de precipitação ocorrem quando existe uma condensação de vapor d'água formando nuvens, os ventos movimentam as partículas d'água de maneira a ocorrer aglutinação de gotículas, formando massas d'água, que podem ser gelo, poeira ou outras partículas até atingirem peso suficiente para vencerem as forças de sustentação e caírem, deslocando-se em direção ao solo.

O regime hidrológico de uma região é determinado por suas características físicas, geológicas e topográficas, e por seu clima. Os fatores climáticos mais importantes são a precipitação, sua duração e frequência, seu tempo de retorno e a evaporação. A determinação da intensidade de precipitação é importante para o controle de inundação e da erosão do solo. Por sua capacidade em gerar escoamento, a chuva é o tipo de precipitação mais relevante para a hidrologia (BERTONI & TUCCI, 2003). Outros fatores climáticos de suma importância são a temperatura, a umidade e o vento, visto que exercem influência sobre a precipitação e a evaporação.

Figura 6 - Estação Meteorológica Automática "Palmas A009"



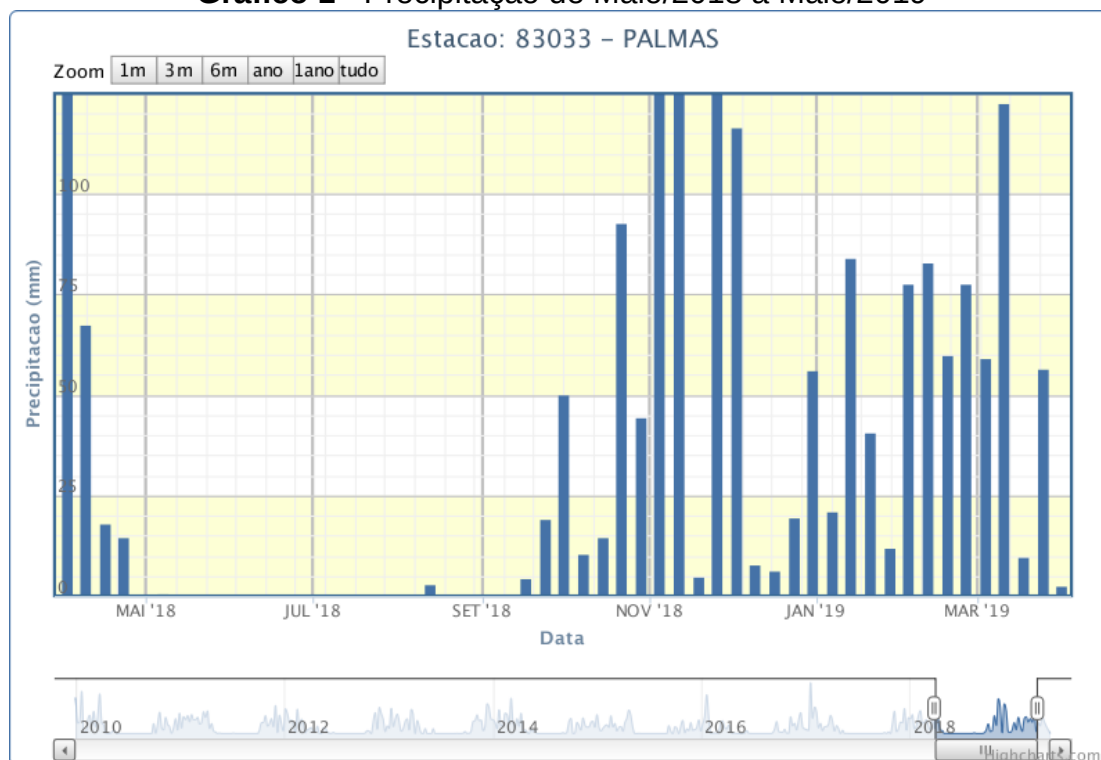
Fonte: INMET (2004)

Para obter valor de precipitação ocorrida, utilizam-se estações meteorológicas, no Brasil o Instituto Nacional Meteorológico de Temperatura (INMET) é o responsável por fazer o recolhimento de dados dessa natureza. Em Palmas, Tocantins, tem-se duas bases de controle, uma estação convencional desde 1993, e uma estação automática inaugurada em 2004 (Figura 6).

A estação meteorológica automática é composta de uma unidade de memória central, ligada a vários sensores dos parâmetros meteorológicos (pressão atmosférica, temperatura e umidade relativa do ar, precipitação, radiação solar, direção e velocidade do vento, etc), que integra os valores observados minuto a minuto e os disponibiliza automaticamente a cada hora. Ao passo que a estação meteorológica convencional é composta de vários sensores isolados que também registram continuamente os parâmetros meteorológicos, que são lidos e anotados por um observador a cada intervalo de 6h, e este os envia a um centro coletor por um meio de comunicação qualquer (INMET, 2011).

Sendo assim, é possível acesso a informações quanto às precipitações diárias e horárias, estabelecer as precipitações acumulada num determinado intervalo de tempo, e até gerar gráficos (Gráfico 1) e afins desta natureza.

Gráfico 1 - Precipitação de Maio/2018 a Maio/2019



Fonte: INMET (2019)

2.1.5 Tempo de Recorrência

Período de retorno, ou tempo de recorrência (TR), é o número médio de anos estimado para que a ocorrência de uma precipitação seja superada. A escolha de um determinado período de retorno para determinada obra, dependerá de sua importância, da análise econômica e de segurança da obra. Quanto maior for o período de retorno, maiores serão os valores das vazões de pico encontrados e mais segura e onerosa à obra (DELGADO, 2008).

Para os engenheiros o período de retorno é interpretado respeitando os procedimentos dentro das normas, é definido dentro do tempo de retorno com maior margem de segurança e melhor dimensionamento para a obra. Tendo em vista esses critérios, o DNIT (2005) apresenta valores usuais para tempo de recorrência de enchente de projeto (Tabela 1), mas ressalta a importância de um estudo hidrológico para cada caso particular.

Tabela 1 - Tempo de recorrência

Espécie	Período de recorrência (anos)
Drenagem superficial	5 a 10
Drenagem subsuperficial	10
Bueiros Tubulares	15 (como canal)
	25 (como orifício)
Bueiro Celular	25 (como canal)
	50 (como orifício)
Pontilhão	50
Ponte	100

Fonte: DNIT (2005)

2.1.6 Tempo de Concentração

O tempo de concentração, de acordo com Silveira (2001) pode ser definido como o tempo exigido para que toda a bacia esteja colaborando na seção de saída. Uma definição mais sucinta foi feita por McCuen et. al. em 1984, conforme citação feita por Silveira (2001), que diz que o tempo de concentração é o tempo necessário onde uma gota d'água percorre superficialmente o ponto mais longe da bacia até sua saída.

O tempo de concentração é um dos parâmetros mais usados no cálculo de chuvas e dados para projetos, por outro lado, é um parâmetro hidrológico

complexo de ser definido, ficando na maioria das vezes a critério do projetista, afinal existem poucas informações sobre a eficiência das diversas fórmulas disponíveis de determinação deste dado (SILVEIRA, 2001).

2.1.7 Escoamento Superficial

Do volume de água que atinge o solo, parte é retida em depressões do terreno, parte se infiltra e o restante escoar pela superfície assim que a intensidade da precipitação supere a capacidade de infiltração do solo e os espaços nas superfícies retentoras tenham sido preenchidos (MARTINS et al, 1976). No início desse escoamento é formada uma película laminar que aumenta de espessura à medida que a precipitação prossegue, até atingir o estado de equilíbrio.

Segundo Martins (1976), a trajetória da água é determinada pelo seu movimento ao longo do terreno, pelas linhas de maiores declividades e pelos obstáculos existentes, sendo caracterizado pelo autor como águas livres. À medida que a água vai atingindo os pontos mais baixos do terreno, passam a escoar em canalículos, que formam a microrrede de drenagem. Sob a ação da erosão, os canalículos aumentam de dimensão e o escoamento se processa, formam-se as torrentes, cuja duração está associada à precipitação; a partir delas formam-se os cursos de água propriamente ditos.

2.1.8 Interceptação

A interceptação é a retenção de parte da precipitação acima da superfície do solo (BLAKE, 1975), podendo ocorrer pela presença de vegetação ou outra forma de obstrução ao escoamento. O volume retido é perdido por evaporação, retornando à atmosfera. Este processo interfere no balanço hídrico da bacia hidrográfica, funcionando como um reservatório que armazena uma parcela da precipitação para consumo. A tendência é de que a interceptação reduza a variação da vazão ao longo do ano, retarde e reduza o pico das cheias (TUCCI, 1993).

2.1.9 Infiltração

A infiltração é o fenômeno de penetração da água nas camadas do solo próximas à superfície do terreno, movendo-se para baixo, através dos vazios, sob a ação da gravidade, até atingir uma camada suporte, que a retém, formando então a água do solo (MARTINS et al, 1976). Portanto, é um processo que depende

fundamentalmente da água disponível para infiltrar, da natureza do solo, do estado da sua superfície e das quantidades de água e ar, inicialmente presente no seu interior (SILVEIRA, LOUZADA e BELTRAME, 2001).

À medida que a água infiltra pela superfície, as camadas superiores do solo vão-se umedecendo de cima para baixo, alterando gradativamente o perfil de umidade. Enquanto há aporte de água, o perfil de umidade tende à saturação em toda a profundidade, sendo a superfície o primeiro nível a saturar. Normalmente, a infiltração decorrente de precipitações naturais não é capaz de saturar todo o solo, restringindo-se a saturar, quando consegue, apenas as camadas próximas a superfície, conformando um perfil típico onde o teor de umidade decresce com a profundidade (SILVEIRA, LOUZADA e BELTRAME, 2001).

Segundo Aisse (1997), do volume precipitado sobre a bacia, apenas uma parcela atinge a seção de vazão, sob a forma de escoamento superficial. O autor explica que isso ocorre porque parte da precipitação é interceptada, preenche as depressões, umedece a superfície do solo, ou se infiltra no solo. Dessa forma o volume que não é retido por esses fatores dão origem ao escoamento superficial, objeto de estudo desta análise.

Os sistemas urbanos criam superfícies impermeáveis que não existiam na bacia hidrográfica, gerando impactos de aumento do escoamento, que é transportado através de condutos e canais (TUCCI, 1993). Em cima disso, é preciso buscar métodos que auxiliem na infiltração da água no solo, para que a superfície tenha o mais próximo possível da sua capacidade de infiltração natural mesmo após sua urbanização, e assim a região recupere o seu equilíbrio ambiental.

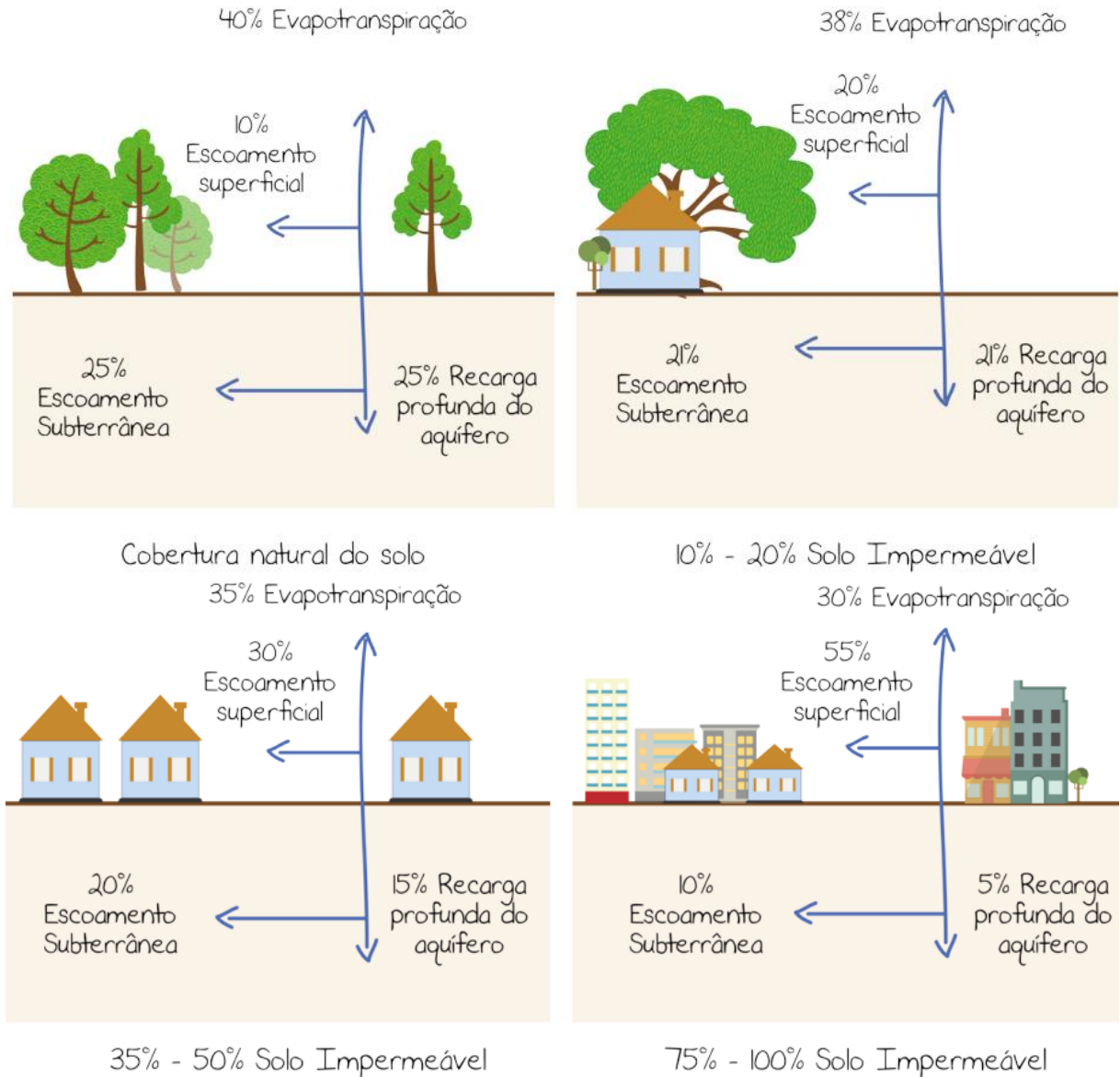
2.2 Espaço Urbano

Quando a ocupação do terreno por seres humanos passa a ser utilizado por um conjunto de diferentes intenções nasce o espaço urbano. De acordo com Corrêa (1987), tais usos envolvem desenvolvimento de atividades comerciais, industriais e residenciais. Assim, essa concentração humana com diferentes usos de terra, ficou caracterizada como cidade, tratando-se de organização espacial. Partindo disso tem-se a transformação da área rural em área urbana.

Diante isto, surge uma nova situação, muito diferente da situação de equilíbrio ambiental anterior (Figura 7). Para uma correta implantação de uma cidade, o recomendado é criar um plano diretor integrado que durante seu

planejamento seja considerado a topografia do terreno, a geologia da área, os corpos hídricos, entre outros, com o efeito de definir o melhor traçado para a urbanização territorial com condições satisfatórias para a instalação humana e a redução dos impactos ambientais gerados pela mesma (BOTELHO,2011).

Figura 7 - Transformação da área rural em área urbana



Fonte: Aquafluxu, adaptado por Eloi & Santos (2012)

Contudo, as ideias anteriormente apresentadas são bem diferentes da realidade das cidades Brasileiras, que mesmo em contraste com a evolução da engenharia, segue seu crescimento desordenado e inconsequente.

A água exerce um papel importante no meio urbano, havendo necessidades de atendimento a demandas diferenciadas, questões relativas à sua qualidade, disponibilidade e escoamento de águas de chuva. A gestão dessas águas

apresenta grande importância como componente da infraestrutura urbana, e que, se não dada à devida atenção resultam em situações desastrosas para a população, como enchentes, inundações, alagamento, deslizamento de terra, entre outros (TUCCI & MELLER, 2007).

Para Ramis Tetu (2019), a população se equivoca em colocar a culpa dos desastres naturais destas origens, nas chuvas. Visto que os fenômenos naturais já existiam antes daquela ocupação territorial, cabendo toda a culpa aos próprios invasores, os seres humanos. Isso porque, estão mais preocupados em retirar a matéria orgânica, compactar o solo e impermeabilizar o local a fim de construir moradias e afins, sem levar em consideração as consequências geradas ao meio ambiente e a força da natureza.

Diante este cenário, a engenharia busca medidas de correção e prevenção, que visam minimizar os danos da reação da natureza de frente as intervenções humanas. Posto isso, tem-se as medidas estruturais e as não estruturais.

As medidas estruturais correspondem às obras que podem ser implantadas visando à correção dos problemas decorrente de enchentes, inundações e alagamentos, como por exemplo, canalização para aceleração do escoamento, reservatório para retardar o grande fluxo precipitado e a recomposição da cobertura vegetal ao longo da bacia de drenagem. Em contraposição, as medidas não estruturais são aquelas em que se procura reduzir os danos por meio da introdução de normas, regulamentos e programas que visem o disciplinamento do uso e ocupação do solo, podendo ser eficaz a custos mais baixos e com horizontes mais longos de atuação, mas que ao mesmo tempo não apresenta resultado imediato em relação ao pico das cheias (CANHOLI, 2014).

Portanto, compete aos engenheiros e técnicos especializados a tomada de consciência, e de decisão, sobre os métodos utilizados e sua devida implantação, de forma que resulte na melhor alternativa econômica e sustentável.

2.3 Sistema de Drenagem Urbana

De acordo com Tucci (2012), no desenvolvimento de um traçado de rede de drenagem, devem ser estudadas várias disposições para a mesma em busca do melhor traçado, sendo considerados fatores topográficos locais e o pré-dimensionamento hidrológico e hidráulico. O projeto deve ser desenvolvido com

base no projeto urbanístico já finalizado ou paralelo a concepção do mesmo, do contrário, o sistema de drenagem pode ficar com sua funcionalidade limitada, o que pode se desdobrar num custo maior da obra.

O sistema de drenagem superficial de uma plataforma, indicado para o espaço urbano, constitui-se do conjunto de dispositivos para interceptar, captar e escoar os deflúvios que afluem à plataforma da estrada, conduzindo-os aos pontos de lançamento adequados (DER-SP, 2006).

O sistema de drenagem superficial da plataforma é composto basicamente pelos seguintes dispositivos: sarjetas, valetas de canteiro central, caixas coletoras, bocas de lobo e poços de visita.

2.3.1 Sarjetas

Para Tucci (1995), em meios urbanos, as sarjetas são faixas de via pública, em formato de calha, paralelas às guias de concreto. Têm como objetivo receber e conduzir as águas que se precipitam sobre a plataforma da rodovia e que escoam para os pontos de coletas (boca de lobo).

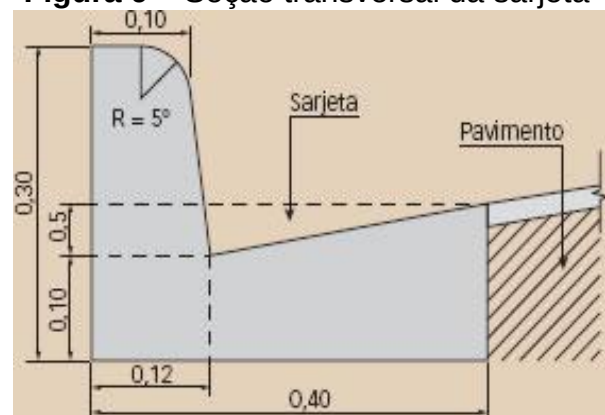
Sendo um sistema pluvial superficial, não acarreta maiores custos, pois sua construção se dá ao mesmo tempo da pavimentação do leito carroçável da rua. As ruas são construídas com uma inclinação para os lados, a inclinação transversal, e inclinação longitudinal, a inclinação segue com o comprimento da rua, onde se localiza a sarjeta (BOTELHO, 2011). Sobretudo, salvo casos excepcionais não devem ser projetadas sarjetas em seções com declividade transversal das pistas no sentido do canteiro central (DER-SP, 2006).

Figura 8 - Sarjeta



Fonte: Google imagens (2016)

Figura 9 – Seção transversal da sarjeta



Fonte: Pini (2011)

2.3.2 Boca de lobo

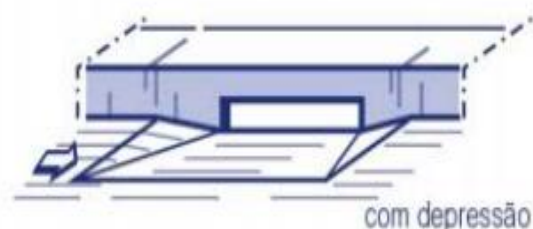
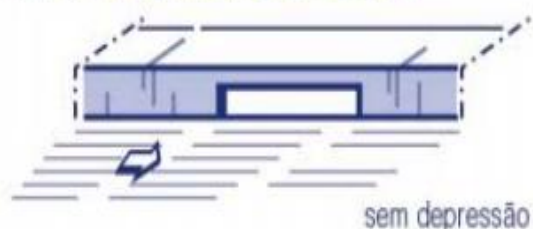
Bocas de lobo (BL) são dispositivos essenciais que têm a finalidade de captar as águas pluviais que escoam pelas sarjetas para, em seguida conduzi-las as galerias subterrâneas (DNIT, 2006).

A Superintendência de desenvolvimento de recursos hídricos e saneamento ambiental – SUDERHSA (2002) apresenta a classificação de bocas de lobo quanto ao posicionamento das bocas e caixas coletoras (Figura 10). Na primeira situação tem-se o BL simples (Figura 10a), onde a captação ocorre pela lateral. Já na segunda situação temos a BL com grelha (10b), a caixa coletora fica situada sob a faixa da sarjeta, e a captação depende da área de abertura. Os dois tipos podem ser adotados de forma agrupada (10d), dependendo necessidade de vazão.

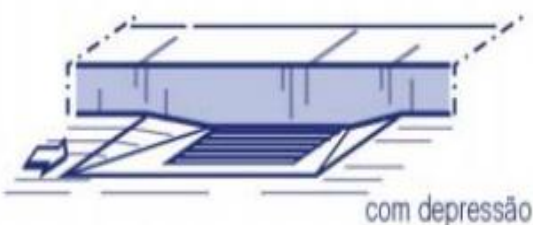
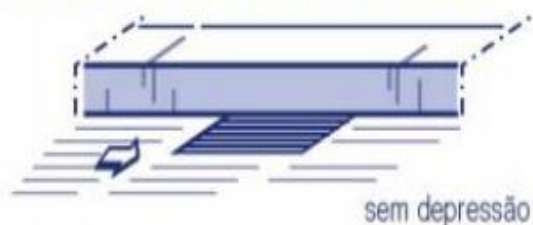
Segundo Mascaró (2003), estas são opções em desuso, pois necessita estar sempre limpo para a total infiltração da água; ficando recomendado a utilização dos exemplos “c”, onde acontece a captação lateral e vertical, graças a combinação dos sistemas.

Figura 10 - Tipos de boca de lobo

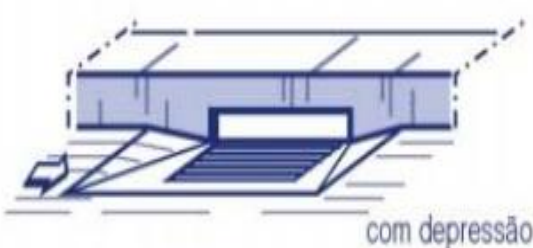
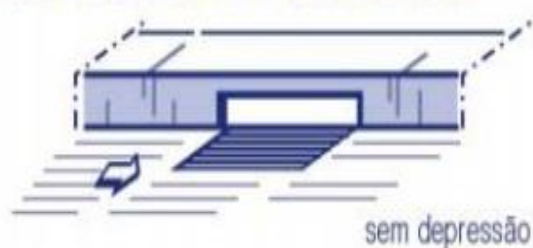
a. BOCA-DE-LOBO DE GUIA



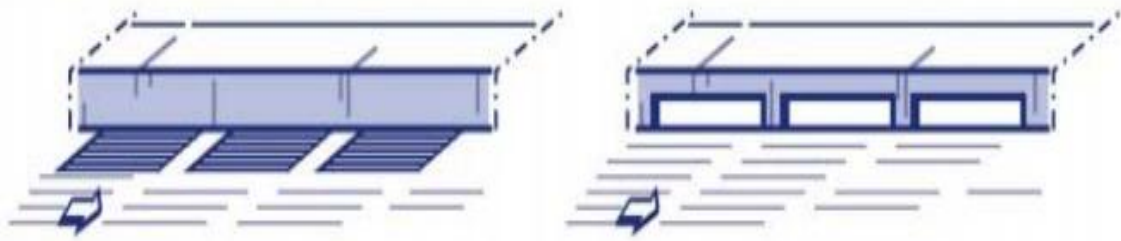
b. BOCA-DE-LOBO COM GRELHA



c. BOCA-DE-LOBO COMBINADA



d. BOCA-DE-LOBO MÚLTIPLA



Fonte: SUDERHSA (2002).

Depressão: é o rebaixamento feito na sarjeta junto à entrada da boca coletora, com a finalidade de aumentar a capacidade desta.

Figura 11 - BL múltipla Av. Teotônio Segurado



Fonte: Autor (2019)

Figura 12 - BL múltipla combinada com depressão Av. Teotônio Segurado



Fonte: Autor (2019)

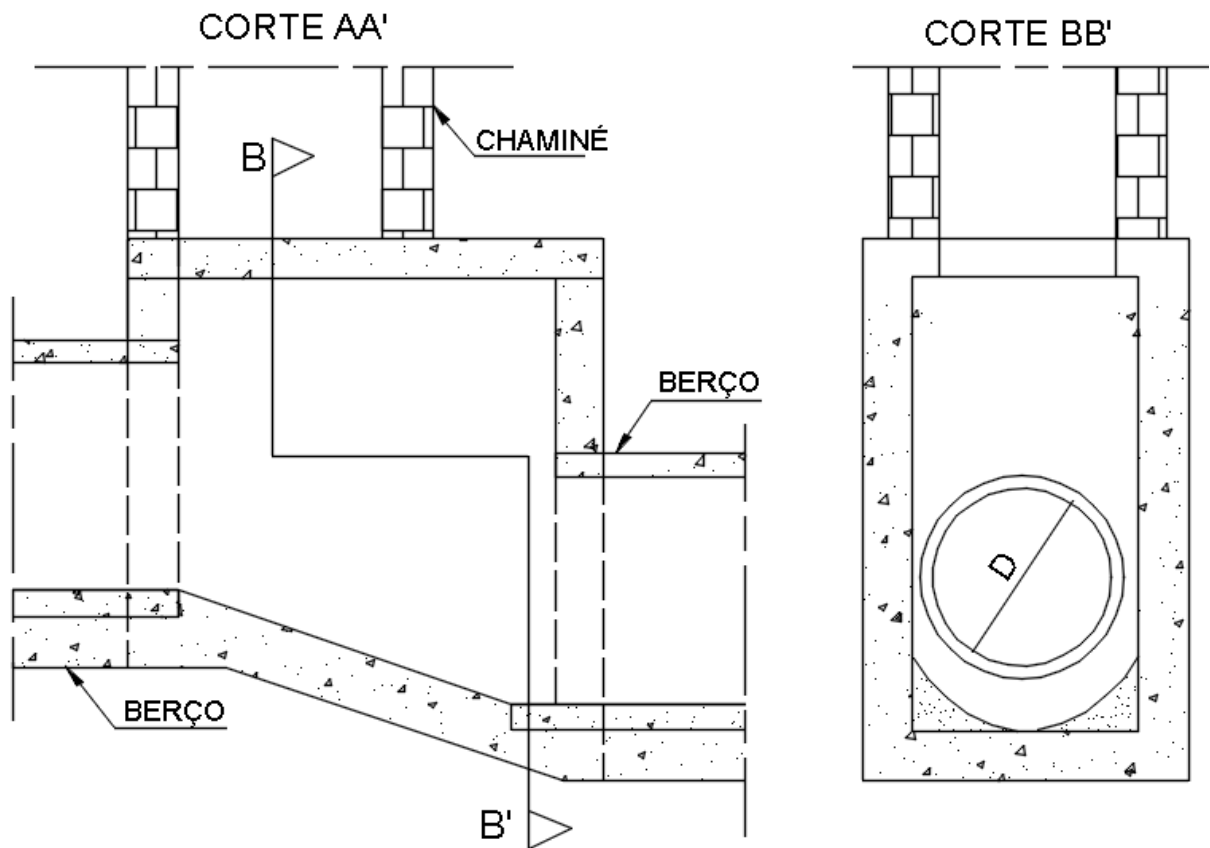
2.3.3 Poços de visitas

Após o dimensionamento e locação das bocas de lobo e sarjetas, devem ser posicionados os poços de visita que atenderão às BL's projetadas e demais casos particulares (DNIT, 2005). Esses poços podem ser aproveitados como caixas de recepção das águas das bocas de lobo, suportando no máximo quatro junções. Pode-se também adotar uma caixa de coleta não visitável para receber estas conexões, vulgo caixa de ligação (SUDERHSA, 2002).

Independente da escolha, caixa de ligação ou poços de visitas, são dispositivos especiais que têm a finalidade de permitir mudanças das dimensões das galerias, ou de sua declividade e direção do fluxo. São dispositivos também previstos quando, para um mesmo local, concorrem mais de um coletor. Têm ainda o objetivo de permitir a limpeza nas galerias e a verificação de seu funcionamento e eficiência (DNIT, 2005).

Quanto a sua execução, a SUDERHSA recomenda que evite trechos longos, de maneira que a distância entre dois poços de visita consecutivos fique no máximo em torno de 120 m, para facilitar a limpeza e inspeção das galerias. Outras recomendações podem ser vistas na Tabela 2.

Figura 13 - Poço de visita, cortes



Fonte: DNIT (2006), adaptado

Figura 14 – Caixa de passagem em alvenaria



Fonte: Google imagens (2018)

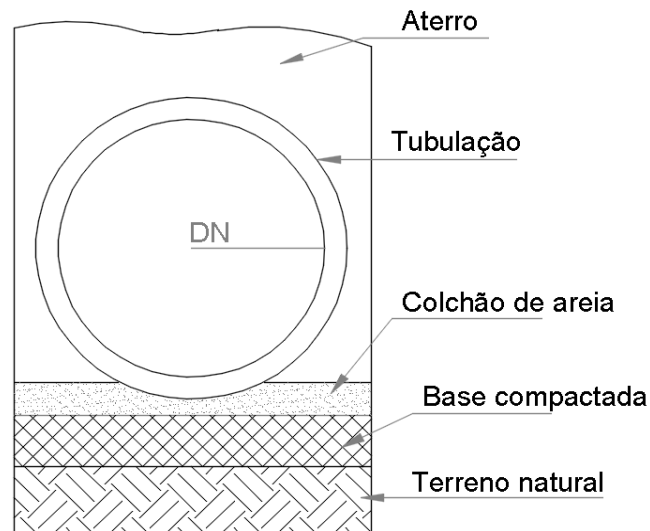
2.3.4 Ramais

São redes implantadas no subsolo, destinadas a conduzir as águas pluviais coletadas das vias de circulação. As águas coletadas nas bocas de lobo são esgotadas por tubos de ligação, esses tubos conectados encaminham as águas até a canalização principal. Seus diâmetros variam de acordo com a necessidade e com a disponibilidade de mercado, podendo ser de 300 a 1.500 milímetros (BOTELHO, 2011).

Para cada trecho, pode-se utilizar o tipo de seção mais conveniente, técnica e economicamente, em função das condições do solo e do local da obra. Sendo assim, a NBR12226/92 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana indica as seções-tipos retangular, trapezoidal, mistas, ou circulares. Sendo essa ultima a mais aderida para obras de drenagem.

Sua execução acontece através da abertura de uma vala que comporte o a dimensão da tubulação utilizada, somada a altura do seu reaterro, essa deve ser no mínimo de 1m de altura (DAEE/CETESB, 1980). Na base da vala deve ser instalado um colchão de areia, para amortecer a base da tubulação a fim de evitar danos e fissuras à tubulação.

O projeto-tipo para ramais de seção circular está disposto na Figura 15.

Figura 15 - Seção transversal de rede tubular

Fonte: Autor (2019)

2.4 Projeto de drenagem

Para a correta elaboração de um projeto de drenagem pluvial, devem-se considerar alguns parâmetros para os elementos estruturais, onde na maioria das vezes são levados em questão a área de contribuição, a equação de chuvas intensas, o período de retorno, o tempo de concentração, em outras palavras, deve-se fazer o estudo hidrológico da região associado ao estudo hidráulico.

2.4.1 Equação das chuvas

A determinação das equações de chuvas intensas é de suma importância para rede de drenagem urbana, pois é um parâmetro a ser considerado na estimativa de vazões de projeto (SOUZA, 2014). Para a definição das curvas de intensidade das chuvas, tempo de duração e frequência é necessário ter conhecimento de parâmetros peculiares (a, b e c) definidos de acordo com a localização (CHOW, 1964, apud SOUZA, 2014).

Para determinação da intensidade máxima média de precipitação, utiliza a equação IDF, apresentada na Equação I.

$$I_{\text{máx}} = \frac{k * TR^a}{(tc + b)^c} \quad \text{Equação (I)}$$

Em que:

$I_{\text{máx}}$ = intensidade da chuva (mm/h);

tc = tempo de concentração (min);

TR = tempo de retorno (anos);
k, a, b, c - parâmetros da equação.

Silva (2003) apresenta os parâmetros estabelecidos para dez cidades do Tocantins em seu trabalho sobre equações de intensidade-duração-freqüência (IDF) da precipitação pluvial para o Estado (Tabela 3).

Tabela 2 - Parâmetros para equação de determinação da intensidade máxima média de precipitação

Estação	Parâmetros para equação de IDF			
	k	a	b	c
Alvorada	9989,560	0,211	56,638	1,087
Araguatins	4732,318	0,229	46,957	0,995
Dianópolis	4642,242	0,162	35,878	1,051
Formoso do Araguaia	8740,420	0,176	54,663	1,078
Guaraí	8650,360	0,178	41,365	1,098
Miracema do Tocantins	5958,095	0,173	35,298	1,043
Natividade	2113,850	0,206	30,296	0,845
Tupiratins	2300,090	0,155	31,686	0,869
Tocantinópolis	9862,000	0,187	69,638	1,072
Projeto Rio Formoso	8950,250	0,194	71,072	1,027

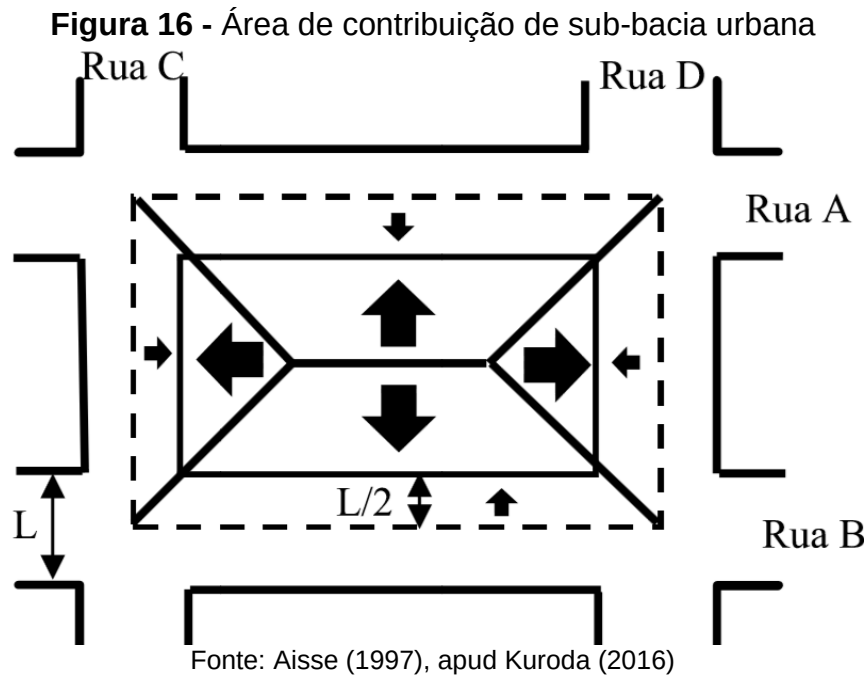
Fonte: Silva (2003), adaptado

Para a cidade de Palmas, os parâmetros podem ser definidos pelo software Plúvio 2.1. Desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, possibilita a obtenção da equação de chuvas intensas para qualquer localidade dos Estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Rio de Janeiro, Espírito Santo, Bahia e Tocantins.

2.4.2 Bacia de contribuição

O critério de cálculo para as áreas das bacias de contribuição das áreas urbanas são apresentadas na Figura 16. Dessa forma, os critérios adotados para a divisão das quadras devem tomar as bissetrizes nas esquinas (RAMOS, 2003).

Para a caracterização das bacias de contribuição se faz necessário incluir a avaliação da geologia, tipo de solo, hidrogeologia, relevo, ocupação urbana por sub-bacia para os cenários de interesse (SUDERHSA, 2002).



2.4.3 Tempo de concentração da bacia de contribuição

Para o cálculo da Intensidade média máxima de precipitação a ser considerada no projeto de drenagem pluvial, o tempo de duração da chuva é substituído pelo tempo de concentração da bacia captadora de água. Sendo que para cada bacia, deve-se calcular o seu tempo de concentração.

$$t_c = 3,989 * \frac{L^{0,77}}{S^{0,385}} \quad \text{Equação (II)}$$

Em que:

t_c = tempo de concentração da bacia de contribuição (min);

L = comprimento do talvegue (km);

S = declividade do talvegue (m/km).

2.4.4 Vazão para bacia de contribuição

O método racional é largamente utilizado na determinação da vazão máxima de projeto para bacias pequenas, com áreas menores que 2 km². Na microdrenagem é muito utilizada para definir as vazões precipitadas por sub-bacias urbanas, como também serve de base para a determinação dos diâmetros de projeto (SUDERHSA, 2002). A Equação III apresenta uma das formas de aplicação do método racional.

$$Q = \frac{C * I * A}{3,6} \quad \text{Equação (III)}$$

Sendo:

Q = vazão de escoamento (m³/s);

C = coeficiente de deflúvio;

I = intensidade de precipitação (mm/h);

A = área de contribuição (km²).

2.4.5 Coeficiente de deflúvio

Os coeficientes de deflúvio, também conhecido por coeficientes de atrito, estão relacionados com a rugosidade do material por onde a água escoar, em outras palavras podem ser definidos como a resistência ao processo natural do escoamento em função da natureza do material da superfície por onde a água percorre (TUCCI, 1995).

A correta determinação do coeficiente de deflúvio (C) é um parâmetro primordial na avaliação da capacidade de vazão. Um valor muito acima, ou abaixo, do real, pode resultar na escolha errada do tipo de tubulação, conseqüentemente problemas futuros nas instalações (ABTC, 2004).

O espaço urbanizado é composto por diferentes tipos de revestimentos superficiais, os quais influenciam de maneiras diferentes no escoamento da água pluvial até sua coleta. Diante disso, Chow (1988) determina os coeficientes de escoamento para cada tipo de superfície (Tabela 4).

Tabela 3 – Coeficiente de deflúvio de acordo com a superfície, em relação ao tempo de retorno

Superfície	Coeficiente de deflúvio						
	Tempo de retorno (TR)						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Concreto/ Telhado	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Gramado (cobrimento 50% da área)							
Plano (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Médio (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Inclinado (>7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62

Fonte: Chow (1988), adaptado

2.4.6 Declividade lateral das ruas

Os estudos sobre a declividade lateral das ruas mostra que a inclinação pode variar de 1,5% a 4%, de modo que não atrapalhe a estabilidade dos veículos. Sendo que o recomendado é adotar, para locais onde é alto o índice de pluviométrico, declividade lateral de 2,5% e em casos extremos até 4% (Stein et al, 1999. Apud Tomaz, 2015).

Vale ressaltar ainda que, de acordo com Tomaz (2015), a largura da rua é o denominado leito carroçável, isto é, a distância perpendicular entre as faces internas das guias opostas, parte fundamental para os cálculos que virão.

2.4.7 Sarjetas

As sarjetas devem ser dimensionadas com o emprego da Equação (IV) de Manning modificada por Izzard, que conforme DNIT, 2006:

$$Q = 0,376 * \left(\frac{Z}{n} \right) * y^{\frac{8}{3}} * S^{0,5} \quad \text{Equação (IV)}$$

Sendo:

Q= Vazão na sarjeta (m³/s);

y= Altura da lamina de água na sarjeta (m);

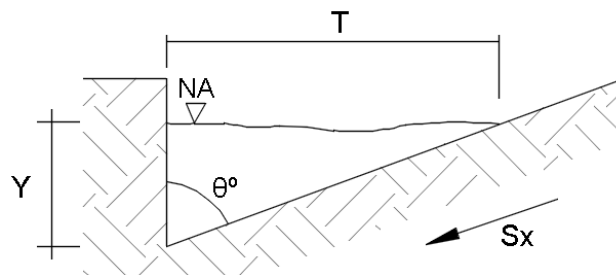
S= Declividade longitudinal da sarjeta (m/m);

n=C de rugosidade de Manning;

Z= Recíproca da declividade transversal;

Z= tg (θ).

Figura 17 - Dimensionamento da sarjeta



Fonte: Autor (2019).

O DNIT (2006) traz ainda meio para a definição da altura de água na sarjeta (Equação V), calculada em função de T (Figura 17):

$$\text{Tg} (\theta) = \left(\frac{T}{y} \right) \quad \text{Equação (V)}$$

$$Y = T * S_x \quad \text{Equação (VI)}$$

Sendo:

S_x = declividade transversal da rua (m/m);

T = largura da água na sarjeta no topo (m);

y = altura do nível de água na sarjeta (m).

O tempo de escoamento para sarjetas e canalizações pode ser determinado segundo a Equação VII:

$$t_e = \frac{L}{60} * V \quad \text{Equação (VII)}$$

Sendo:

t_e = tempo de escoamento no percurso da sarjeta/canalização (min);

V = velocidade da água pluvial na sarjeta (m/s);

L = comprimento entre as bocas de lobo (m).

2.4.8 Boca de lobo

No que diz respeito ao dimensionamento de boca de lobo é necessário definir a capacidade de engolimento da boca coletora, para tal, Tucci (2012) traz a seguinte equação (VI):

$$Q = 1,7 * L * y^{3/2} \quad \text{Equação (VIII)}$$

Em que:

Q = vazão de engolimento (m^3/s);

L = comprimento da soleira (m);

y = altura de água próximo à abertura na guia (m).

Logo, a mesma pode ser utilizada para definir o tamanho da boca de lobo, da seguinte forma:

$$L = \frac{Q}{1,7 * y^{3/2}} \quad \text{(Equação IX)}$$

Bocas de lobo com grelha trabalham como vertedores de soleira livre, sendo calculados pela Equação (IX) substituindo L por P , onde P é o perímetro da grelha em metros.

2.4.9 Tubulação

Os tubos de concretos pré-fabricados devem ser do tipo e dimensões indicadas no projeto e de encaixe tipo ponta e bolsa ou macho e fêmea, obedecendo às exigências da 8890/08 (Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários — Requisitos e métodos de ensaios).

Quanto ao seu dimensionamento dos condutos de coleta de águas pluviais, deverão ser calculadas com preenchimento máximo de 75% da seção, com velocidade mínima de 0,75m/s e máxima de 5m/s. Adotando a equação da continuidade e de resistência segundo manning (X).

$$D = 1,55 * \left(\frac{Q * n}{S^{\frac{1}{2}}} \right)^{3/8} \quad \text{Equação (X)}$$

Onde:

Q = vazão (m³/s), definida pelo método racional;

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

S = declividade (m/m)

Tabela 4 - Alguns valores do coeficiente de rugosidade de manning

Características	n
Canais retilíneos com grama de até 15 cm de altura	0,30 - 0,40
Canais retilíneos com capins de até 30 cm de altura	0,30 - 0,0060
Galerias de concreto	
pré-moldado com bom acabamento	0,011 - 0,014
moldado no local com formas metálicas simples	0,012 - 0,014
moldado no local com formas de madeira	0,015 - 0,020

Fonte: Manual de drenagem urbana a região metropolitana de Curitiba - PR (2002)

Para a escolha do coeficiente de Manning foi utilizada a Tabela 5. Já para determina a verificação do preenchimento da seção (y/D), utiliza-se as equações a seguir:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * J^{1/2} \quad \text{Equação (XI)}$$

Onde:

V = velocidade de escoamento (m/s);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

R = raio hidráulico (m) -> R=A/P

J= declividade

D = diâmetro do conduto

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 Localização e aspectos físicos de Palmas – TO

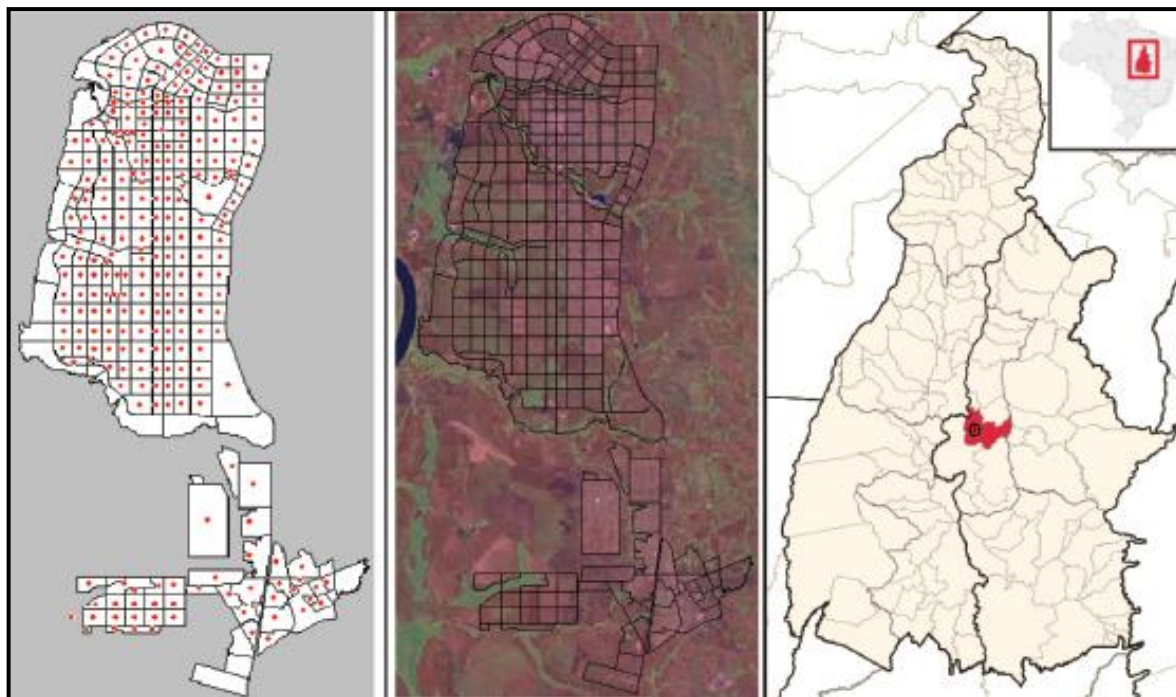
Fundada em 20 de maio de 1989, Palmas foi criada para ser capital do Tocantins, na região Norte do Brasil. É uma cidade planejada por meio de um Plano Diretor e um Projeto Piloto (PMP, 2015). Encontrando-se na região central do estado (Figura 18), sua localização permitia ser uma cidade geopolítica e capital econômica (BRITO, 2005). Portanto, possibilitava ser um polo de irradiação de desenvolvimento econômico e social (LIRA, 1995).

A referência para a criação de Palmas foram os planos oficiais de uso de solo elaborados para Brasília, no Distrito Federal. Ainda que sua área central tenha sido inteiramente planejada, no decorrer do processo de ocupação territorial seu crescimento periférico escapou ao controle administrativo, culminando por atropelar as ações de planejamento, e resultando no surgimento de bairros, setores e condomínios em áreas não previstas inicialmente (BERTONE, MELLO, 2004).

Localizada entre as margens do reservatório da Usina Hidroelétrica do Lajeado, no Rio Tocantins, e a Serra de Lajeado (VELASQUES, 2010), Palmas situa-se nas coordenadas 10° 12' 46" S e 48° 21' 37" W, e está inserida na região geomorfológica denominada Depressão do Tocantins. Apresentando uma vegetação de cerrado, com densidade média, com relevo de “colinas amplas e rampas”, caracterizando sua suave topografia, e assim, admitindo pouca variação altimétrica (CEPED/UFSC, 2017). Seu clima dominante caracteriza-se pelo tropical quente e úmido com duas estações bem definidas: uma seca e outra úmida, com médias mensais superiores aos 25°C e máximas de 41°C (ADORNO, FIGHERA, 2005). Sua precipitação média acumulada por mês está entre 155mm e 235mm, na época chuvosa (INMET, 2019).

O município possui área de 2.218,942 km², com população estimada em 2018 de 291.855 habitantes, e uma frota de 187.029 veículos sendo em sua maioria carros de pequeno porte, motocicleta e caminhonete. Apresentou 67.6% de domicílios com esgotamento sanitário adequado e 31.3% de domicílios urbanos em vias públicas com urbanização adequada (presença de boca de lobo, calçada, pavimentação e meio-fio), em 2010. Mesmo com o percentual tão baixo para o segundo item, é o município que possui melhor infraestrutura no estado do Tocantins (IBGE, 2010).

Figura 18 - Localização de Palmas, Tocantins



Fonte: Cavalcante, 2013

3.2 Avenida Teotônio Segurado

O traçado urbanístico de Palmas possui características similares com o de Brasília. Principalmente porque foram traçadas em torno de um grande eixo principal (o Eixão em Brasília e a Avenida Teotônio Segurado, em Palmas); as quadras residenciais e comerciais com pequenas diferenças se assemelham muito, todas ligadas e orientadas pelo eixo principal (BRITO, 2005).

Em suma, Palmas possui dois eixos responsáveis pela maior parte da mobilidade urbana da cidade, a Avenida Teotônio Segurado, que liga a cidade de norte a sul, e a Avenida JK, de leste a oeste. Esses são alimentados por avenidas vicinais que orientam toda a circulação de veículo da cidade (BRITO, 2005).

A Av. Teotônio Segurado é a mais importante via arterial da cidade, não só pelo que já foi apresentado, mas também por ser a maior avenida da cidade com um total de 26 km de extensão, tendo sua origem na Avenida NS-05 e terminando no Setor Taquari. Composta por duas mãos únicas, de 14m de largura cada, separadas por um canteiro central de 45m, se torna o principal corredor de transporte concentrando grande fluxo de ônibus, carros e motos.

A área de estudo refere-se ao trecho da Av. Teotônio Segurado reduzido ao intervalo entre as Avenidas LO-13 e LO-15, paralelo à quadra 602 Sul. Sua

marginal é composta por grandes bolsões de estacionamentos (Figura 21), e edifícios comerciais, tais como supermercados, escolas, restaurantes, hotéis, e comércios em geral. O trecho ainda conta com uma estação de parada ônibus, tendo como consequência, elevada presença de pedestres.

Figura 19 – Localização da área de estudo



Fonte: Google Earth Pro, 2019

Figura 20 - Av. Teotônio Segurado, trecho de estudo



Fonte: Google Earth Pro (2019)

Figura 21 - Av. Teotônio Segurado



Fonte: Google Earth pro, 2019

3.3 Alagamentos na cidade de Palmas

As inundações são problemas que vêm crescendo em muitas cidades brasileiras, causando transtornos aos moradores e usuários do espaço urbano e, em alguns casos, provocando desastres. As chuvas intensas e os problemas de infraestrutura urbana que estão relacionados a esses eventos acarretam problemas às cidades e, atualmente, vêm causando grande repercussão na mídia, principalmente por serem eventualidades que, direto ou indiretamente, afetam a população.

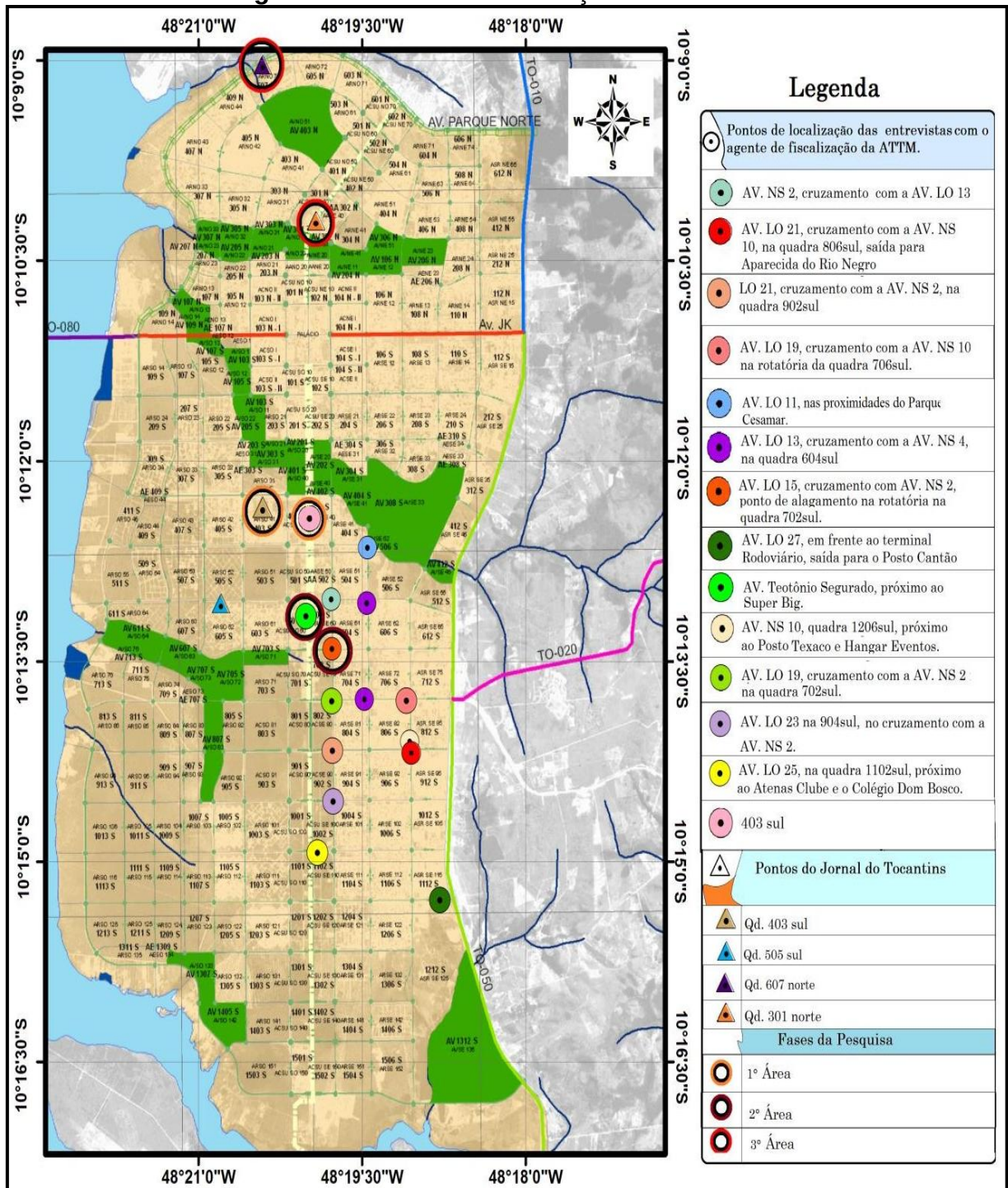
O sistema de drenagem urbana vem para mitigar essas situações, de forma que promova o correto transporte das águas da chuva após a sua ocorrência, sem causar nenhum transtorno ao funcionamento habitual da área urbana. Subentende-se que a inundação de uma área urbana é consequência de um inadequado sistema de drenagem ou até mesmo de sua inexistência.

No que tange a Palmas, o Plano Municipal de Saneamento aponta déficit em sua macro e micro drenagem, tem-se como exemplo o lançamento de águas pluviais dos imóveis edificadas diretamente nas vias públicas, e lançamento final inadequado das águas pluviais na rede de drenagem natural (PMP, 2014). Outros colaboradores podem ser pontuados com a sobrecarga da rede de drenagem superficial através da impermeabilização do solo decorrente da expansão urbana, e o aumento de ruas e avenidas pavimentadas (SOUZA, 2010). Isso tudo tem resultado em situações adversas para a população, principalmente com o

alagamento (temporário) de trechos do sistema viário, inclusive em rotatórias e na Av. Teotônio Segurado, paralisando totalmente o tráfego viário em ligações importantes (Norte - Sul e em direção aos Aurenys).

Nesse sentido, e a fim de verificar a ocorrência de inundações na área abordada no estudo, podem-se verificar na Figura 22 os principais pontos de alagamento no plano diretor de Palmas (LOPES & SOUZA, 2012).

Figura 22 - Pontos de inundações em Palmas



Fonte: LOPES & SOUZA (2012)

4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para a realização do presente trabalho foram analisados os pontos com maior incidência de alagamentos levantados no artigo de Lopes & Souza (Figura 22). Levando em consideração as áreas conhecidas e também as notícias transmitidas pelos jornais locais, foi selecionada a Avenida Teotônio Segurado que compreende a Quadra 602 Sul. O local de estudo possui área aproximada de 0,075 Km², enquadrando-se em uma situação de Microdrenagem.

Inicialmente, procedeu-se o monitoramento da área para comprovar a ocorrência de alagamentos através de visitas ao local em dias com eventos de precipitações intensas, além de pesquisas realizadas nos principais meios de comunicação.

Após a confirmação da ocorrência de alagamentos, buscou-se obter os projetos em arquivos digitais da cidade de Palmas, junto à Prefeitura. Os arquivos foram disponibilizados no formato *Computer Aided Design (CAD)* e continham informações sobre a rede da macrodrenagem pluvial, topografia do terreno, delimitação de quadras, lotes, pavimentos e áreas públicas, sendo separados e tratados de acordo com a necessidade da análise no estudo. Contudo, não foi fornecido o projeto de microdrenagem do trecho específico da análise.

A partir da delimitação da área de estudo no arquivo CAD, e no intuito de analisar os elementos da microdrenagem, realizou-se uma vistoria em campo com uma cópia impressa da locação das bocas de lobo e poços de visitas.

Com o objetivo de verificar se as bocas de lobo da Avenida Teotônio Segurado estão satisfazendo o escoamento das águas pluviais, foram levantadas no local as dimensões dos BL's e de suas grelhas. Para o cálculo das vazões ocorridas, aplicou-se o Método Racional, pois a área de estudo é menor que 2 km².

Por fim, comparou-se a vazão das bocas de lobo existente com a vazão da bacia de contribuição para diagnosticar se tais equipamentos estão compatíveis com o escoamento de água pluvial precipitado. Ao ser constatado insuficiente, foi necessário realizar uma análise aprofundada de forma individual para cada boca de lobo, além de um novo dimensionamento para a rede.

4.1 Coleta e formação de banco de dados

4.1.1 Dados pluviométricos

Primeiramente realizou-se uma pesquisa das estações meteorológicas situadas próximas ao local de estudo. No município de Palmas, há duas estações pluviométricas que fornecem informações meteorológicas mensais e anuais. Contudo, apenas a Estação Convencional 83033 disponibiliza dados diários de curto e longo prazo, deste modo optou-se por utilizar dados desta estação.

No entanto, a ocorrência dos eventos de inundações foi analisada no trecho da Av. Teotônio Segurado, delimitada pela Av. LO 13 e LO 15. Sendo assim, podem ocorrer discrepâncias nos volumes precipitados entre as regiões pela distância entre a Estação Pluviométrica e o trecho de análise.

O ponto de partida se deu com a seleção dos eventos de alagamentos, portanto foram pesquisadas notícias publicadas nos principais meios de comunicação (Jornal Anhanguera, Bom Dia Tocantins e O Coletivo) e de trabalhos científicos. Também foram realizadas visitas ao local de estudo em dias com ocorrências de chuvas, na finalidade de verificar a dimensão dos alagamentos ocorridos e obter informações para descrever e caracterizar os onze eventos selecionados, conforme o Quadro 1. Os eventos pontuados podem ser verificados também nas Figuras 23 a 33, inseridas logo após.

Quadro 1 – Dados de alagamentos

Evento	Data	Precipitação diária na estação convencional 83033 (mm)
1	18/01/2017	132,2
2	04/02/2017	63,1
3	22/02/2018	35,3
4	06/04/2018	36,2
5	01/10/2018	42,9
6	07/11/2018	104,3
7	17/11/2018	78,8
8	14/02/2019	47,3
9	27/02/2019	34
10	20/03/2019	24,9
11	09/05/2019	37,1

Fonte: INMET, 2019

Figura 23 - Evento 1

Fonte: JA 2ª Edição (2017)

Figura 24 - Evento 2

Fonte: O coletivo (2017)

Figura 25 - Evento 3

Fonte: JA 1ª Edição (2018)

Figura 26 - Evento 4

Fonte: JA 2ª Edição (2018)

Figura 27 - Evento 5

Fonte: Bom dia Tocantins (2018)

Figura 28 - Evento 6

Fonte: Bom dia Tocantins (2018)

Figura 29 - Evento 7

Fonte: JA 2ª Edição (2018)

Figura 30 - Evento 8

Fonte: Autor (2019)

Figura 31 - Evento 9

Fonte: Autor (2019)

Figura 32 - Evento 10

Fonte: JA 2ª Edição (2019)

Figura 33 - Evento 11

Fonte: O Coletivo (2019)

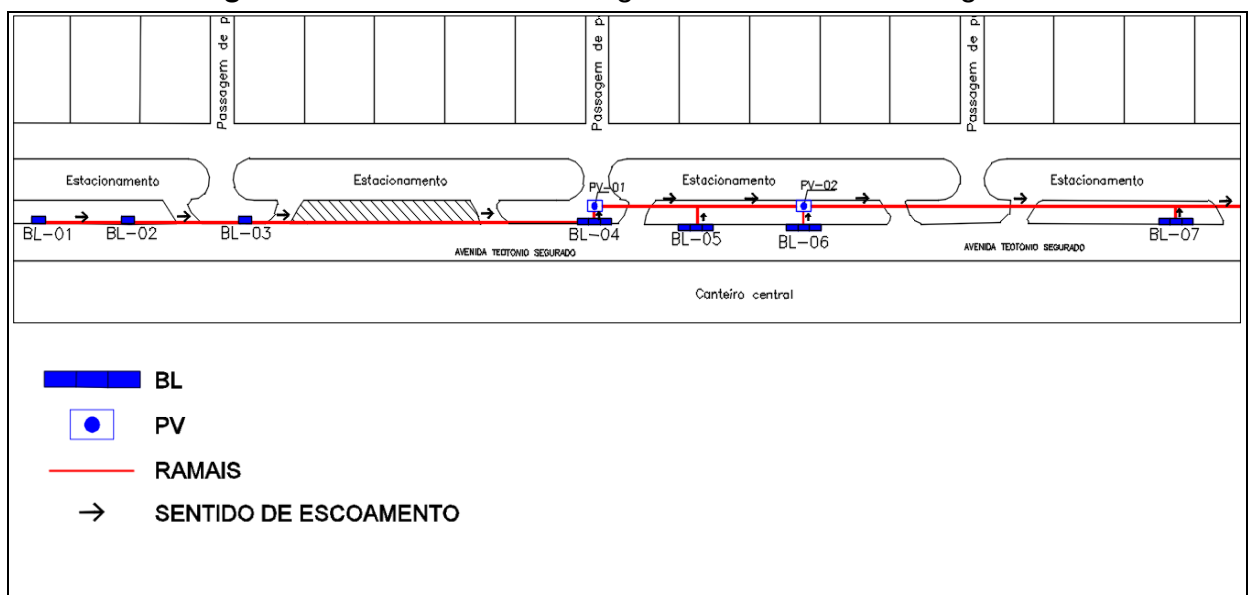
4.1.2 Levantamento documental

No intuito de alcançar os objetivos propostos neste trabalho, foi feito o contato com a Prefeitura Municipal e seus setores responsáveis em relação ao tema para tomar conhecimento de leis, documentos, mapas e quaisquer outras medidas que visam tratar os problemas enfrentados pela população palmense no que diz respeito ao sistema de drenagem urbana.

Através do contato com órgãos públicos municipais pertinentes ao tema, obteve-se o mapa topográfico da região de estudo, planta de situação, planta de locação das bocas de lobo, Cadastro Geral de Drenagem Urbana de Palmas, Código de Obras Municipais e o Plano Municipal de Drenagem Urbana de Palmas – TO.

Não foi possível, entretanto, a localização do projeto de drenagem do trecho de análise, por isso ocorreram visitas de campo com a finalidade de realizar um prévio levantamento necessário para compreender o funcionamento do sistema de drenagem local. De acordo com o posicionamento das bocas de lobo e dos poços de visitas da rede, associado ao posicionamento da galeria da macrodrenagem que margeia o trecho de estudo, criou-se a projeção dos ramais da rede de drenagem, como pode ser visto na Figura 34. É possível conferir o detalhamento da rede de drenagem existente no Apêndice A.

Figura 34 - Sistema de drenagem da Av. Teotônio Segurado



Fonte: Autor (2019)

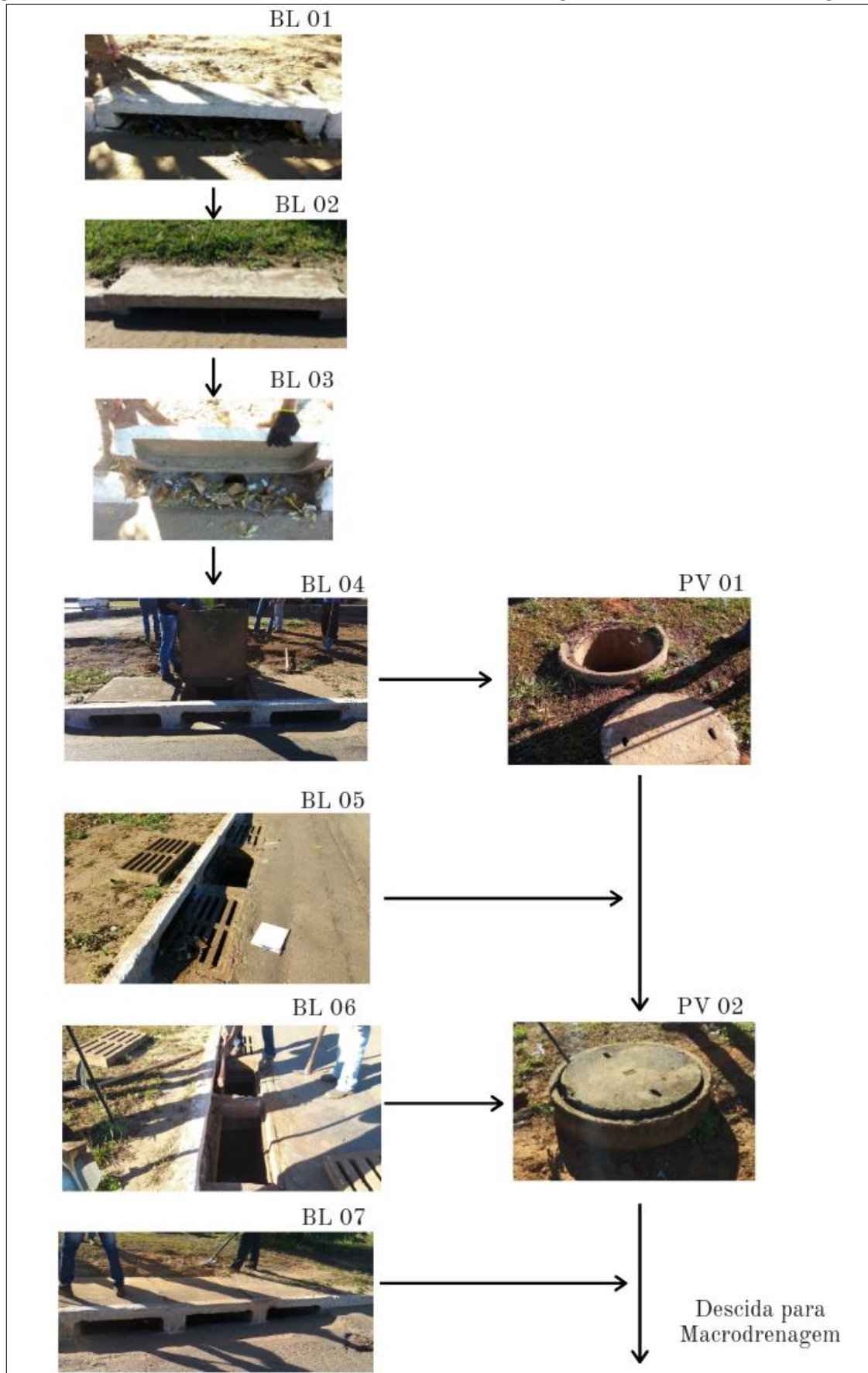
4.2 Inspeção da rede de drenagem

Uma série de visitas foi efetuada ao trecho de estudo, à medida que se fez necessário ao longo do desenvolvimento da metodologia. Levando em consideração que é de extrema importância ter uma visualização o mais próximo da realidade do espaço estudado, realizou-se a inspeção dos componentes da rede de drenagem, incluindo as bocas de lobo e poços de visitas.

A inspeção foi fundamental para verificar as condições do sistema de drenagem. São elas, a limpeza urbana (com a finalidade de diagnosticar a funcionalidade dos equipamentos coletores) e desgaste de suas estruturas (pela ação do tempo ou pela falta de manutenção), visto que há possibilidade de contribuir para a deficiência da rede de drenagem.

Com base nisso, foi produzido um mapeamento da rede de drenagem a partir de fotografias obtidas na vistoria, gerando um panorama da rede (Figura 35). Ela é composta por sete bocas de lobo, dois poços de visitas e ramais que interligam esses elementos, por onde escoam as águas pluviais em direção à galeria posicionada na Av. LO 15. Possui ainda caixas de passagem, porém não foi possível vistoriá-las por não existir acesso a elas sem a utilização de método destrutivo.

Figura 35 - Posicionamento dos elementos de drenagem da Av. Teotônio Segurado



Fonte: Autor (2019)

4.3 Caracterização do local de análise

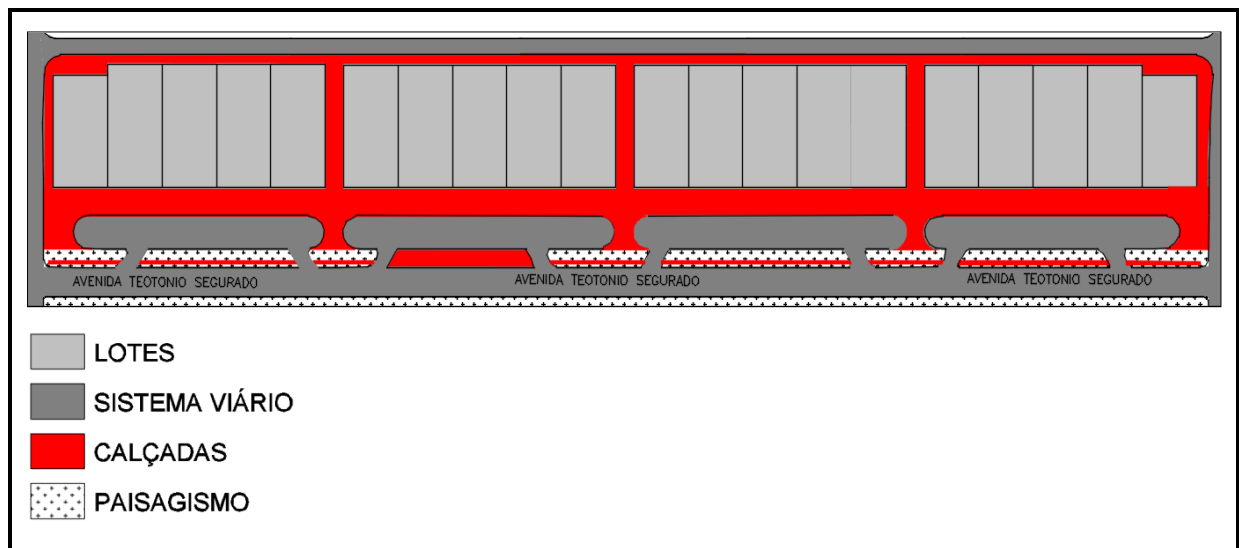
Através da pesquisa documental foram produzidas figuras especializadas para a localização e visualização espacial do campo de estudo (Anexo A), possibilitando com isso a identificação das áreas susceptíveis a ameaças de alagamentos, construindo assim um banco de dados para análise integrada. Está incluso também a planta de caracterização da superfície, planta topográfica, perfil do leito carroçável e delimitação das bacias de contribuição.

Foi utilizada para o desenvolvimento desta parte do trabalho a planta de situação composta por uma quadra interna, divididas em 20 lotes para uso comercial, com bolsões de estacionamento pavimentado e por passeios públicos (Figura 36).

O local de análise contempla uma área total 75.391,81 m² sendo:

- 35.700,00 m² para área de lotes, equivalente a 47,35% do total;
- 19.194,09 m² para o sistema viário, equivalente a 25,46% do total;
- 16.776,18m² para passeio público, equivalente a 22,25% do total; e
- 3.723,54 m² de área urbanística, equivalente a 4,94% do total.

Figura 36 – Planta de caracterização da superfície

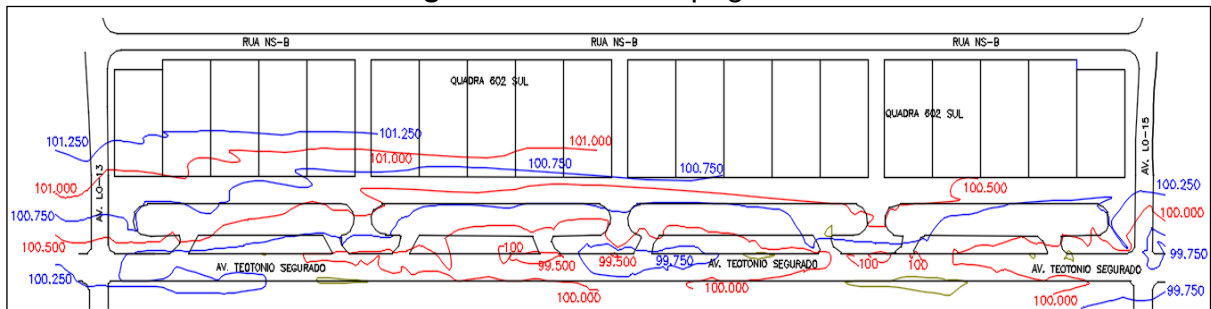


Fonte: Autor

Abordando a topografia do terreno (Figura 37), delimitou-se a bacia de contribuição e definiu sua declividade geral. A Secretaria Municipal de Infraestrutura e Serviços Públicos de Palmas (SEISP) disponibilizou o perfil da plataforma de rolamento e a planta altimétrica dos estacionamentos, facilitando a observação da variação de nível ao longo do comprimento longitudinal da pista leste (Figura 38).

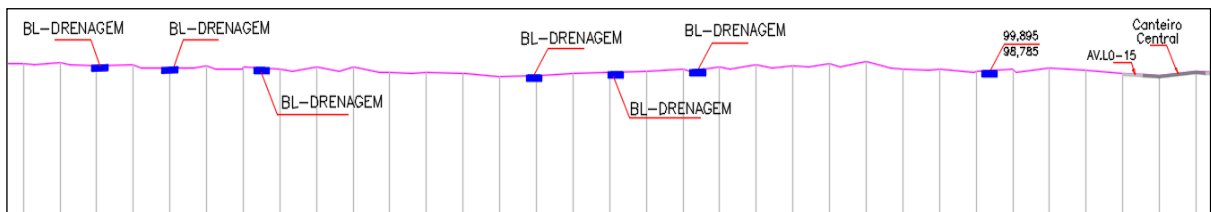
Desta forma, foi possível encontrar os pontos baixos da avenida, sendo esses os mais propensos ao acúmulo de água da chuva.

Figura 37 - Planta topográfica



Fonte: SEISP (2019), adaptado

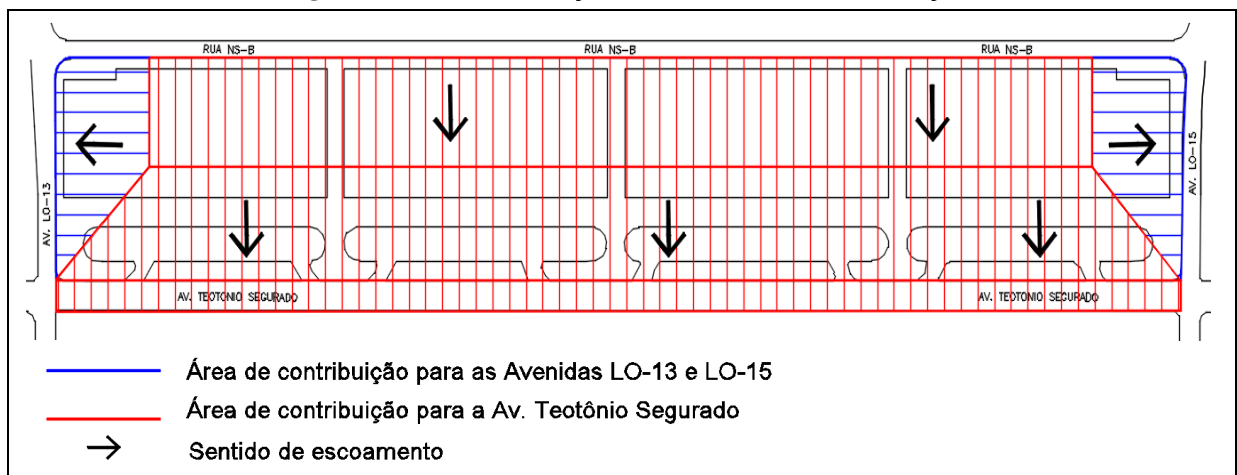
Figura 38 - Perfil da borda leste do trecho de estudo



Fonte: SEISP (2019), adaptado

As bacias de contribuições são determinadas de acordo com os elementos da superfície terrestre (construções, calçadas, vegetação, entre outros) e definidas com base na variação de nível do terreno. Em função da variedade e da complexa forma geométrica de cada bacia, as áreas das mesmas foram extraídas no software de desenho computacional Autocad®, possibilitando notar que parte da área inicial contribui para Avenidas LO-13 e LO-15. Com isso, houve uma diminuição na área da bacia de contribuição do trecho de análise para 0,067 km² (Figura 39).

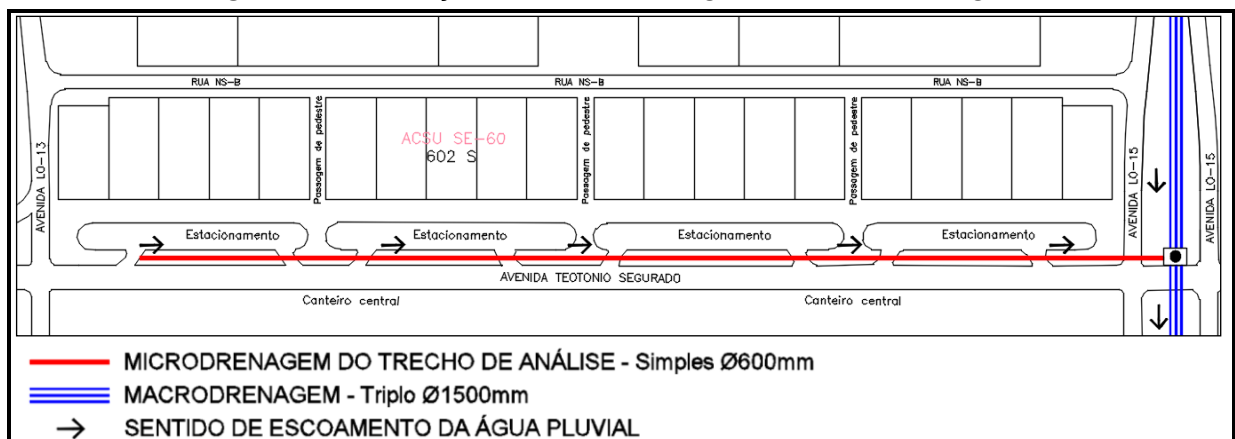
Figura 39 – Delimitação da bacia de contribuição



Fonte: Autor

Utilizando o Cadastro Geral de Drenagem Urbana de Palmas, foi possível relacionar o posicionamento da macrodrenagem com a microdrenagem da área de estudo, e assim permitir uma melhor visualização da situação. Em cima disso, notou-se que todo o sistema de drenagem do trecho analisado descarrega na galeria da macrodrenagem que passa pela Av. LO-15 (Figura 40). Pode-se encontrar com maior detalhamento o projeto da Macro drenagem no Anexo B.

Figura 40 - Localização da Microdrenagem e Macro drenagem



Fonte: SEISP (2019), adaptado

4.4 Vazões ocorridas

No primeiro momento, foi calculada a vazão total precipitada na bacia de contribuição conforme apresentado na Figura 39, tendo sua área de 0,67 km², aproximadamente.

Para o cálculo da vazão da bacia de contribuição foi utilizado o Método Racional, Equação III (Item 2.4.4). Para aplicação desse método, é de grande importância a determinação de alguns fatores como a intensidade máxima de chuva e o coeficiente de deflúvio (C).

Na determinação da intensidade máxima média de precipitação, usou-se a equação IDF, apresentada no item 2.4.1, considerando um tempo de retorno (TR) de 10 anos e o tempo de concentração de 10 minutos.

Em cima disso, e de acordo com o software Plúvio 2.1, obteve-se os parâmetros para k, a, b e c da equação IDF, apresentando os seguintes valores:

$$K = 5958,922;$$

$$a = 0,173;$$

$$b = 35,301;$$

$$c = 1,043.$$

$$I_{\text{máx}} = \frac{5958,922 * 10^{0,173}}{(10 + 35,301)^{1,043}} \quad \text{Equação (I)}$$

Logo:

$$I_{\text{máx}} = 166,28 \text{ mm/h}$$

O valor da intensidade máxima de chuva para toda análise foi de 166,28 mm/h.

No que remete ao coeficiente de deflúvio utilizou-se uma ponderação, uma vez que na área urbanizada possui variados tipos de revestimentos superficiais, os quais influenciam de maneiras diferentes no escoamento superficial da água pluvial até sua coleta.

O coeficiente ponderado foi calculado pela soma da porcentagem de cada parte da área efetiva de escoamento pluvial em relação à área total (67.681,76m²), multiplicada pelo seu coeficiente de deflúvio específico (Tabela 3, Item 2.4.5), como mostrado na Equação XII.

$$C_{\text{ponderado}} = P1 * C1 + P2 * C2 + P3 * C3 + P4 * C4 \quad \text{(Equação XII)}$$

Onde:

P1= porcentagem da área impermeável dos lotes (44%);

P2= porcentagem do sistema viário (7%);

P3= porcentagem das áreas de calçadas (passeio público – 28%);

P4= porcentagem de área permeável (grama – 21%);

C1=coeficiente de deflúvio específico da área dos lotes (0,83);

C2= coeficiente de deflúvio específico do sistema viário (0,81);

C3= coeficiente de deflúvio específico das calçadas (0,83);

C4= coeficiente de deflúvio específico da área permeável (0,43).

Sendo assim o $C_{\text{ponderado}}$ é igual a 0,74.

Para determinar a capacidade máxima de engolimento das bocas de lobo, foram utilizadas duas equações. Na capacidade das grelhas, foi adotada a equação VIII, a qual pode ser verificada no item 5.4.8. Já para a vazão da boca coletora localizada na guia, usou-se a Equação XIII, visto que Nicklow (2001) traz essa

aplicação em situações na qual a altura de lâmina d'água ultrapassa a altura da boca coletora.

$$Q_i = 0,67 * A_g * \left(2g * \left(d_i - \frac{h}{2} \right) \right)^{0,5} \quad (\text{Equação XIII})$$

Onde:

Q_i = vazão de engolimento da guia (m^3/s);

A_g = área efetiva da abertura da boca de lobo (m^2);

g = aceleração da gravidade ($9,81m/s^2$);

h = altura da abertura na boca de lobo (m), e

d_i = altura do nível de água próximo à abertura na guia (m).

Definida a vazão total de precipitação da bacia e a capacidade máxima de engolimento das bocas de lobo, procedeu-se a análise que serviu para verificar se a rede de drenagem existente estava sendo suficiente para a precipitação ocorrida.

4.5 Dimensionamento

Realizou-se um redimensionamento das bocas de lobo e dos ramais, levando em consideração a situação atual de uso e ocupação do solo e adotando os mesmos parâmetros utilizados nos cálculos da vazão total da bacia de contribuição. Foi empregado o Método Racional, de acordo com o Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba – PR (SUDERHSA, 2002).

Considerando os limites físicos da área de estudo, a planta topográfica, a planta altimétrica da pista leste e dos estacionamentos, delimitou-se as sub-bacias de contribuição. Inicialmente, elas serviram para definir a região que necessita de instalação de bocas de lobo. Feito isso, estabeleceu-se o percurso da rede de drenagem, aproveitando o alinhamento com a galeria pluvial.

O posicionamento das bocas de lobo teve sua definição estabelecida, dentro das sub-bacias, ao longo da borda leste da plataforma de rolamento. Foi levado em consideração os pontos mais baixos e os divisores de águas.

Procedeu para a definição das vazões das sub-bacias, calculado segundo o Método Racional (Item 2.4.4), visto que essa serviria de base para encontrar os diâmetros das tubulações. Esses, por sua vez, foram determinados de acordo com as equações da continuidade e de Manning (Item 2.4.9). A declividade da tubulação

coletora foi definida a partir da mínima de 0,5% recomendada pela SUDERHSA (2002), e para o coeficiente de rugosidade foi adotado $n = 0,013$ (Tabela 4).

Para o dimensionamento das bocas de lobo, foram utilizados os mesmos parâmetros que na análise da capacidade máxima de engolimento da rede existente, mas desta vez isolando o comprimento (L), conforme demonstrado na Equação IX (Item 2.4.8).

5 ANÁLISES E RESULTADOS

5.1 Inspeção de elementos da rede de drenagem

Abordando a tubulação coletora, que ligam as bocas de lobo com os poços de visitas, observou-se a existência de diferentes geometrias para suas seções. A Figura 41 apresenta a seção transversal do ramal do BL 04, em que a seção inicia no formato de um quadrilátero e após 1,5 m, aproximadamente, mescla com a tubulação circular. Já o BL 05 conta com a presença apenas de tubulação com seção circular (Figura 42).

Figura 41 - Seção transversal do ramal do BL 04



Fonte: Autor (2019)

Figura 42 – Perspectiva do BL 07



Fonte: Autor (2019)

Devido a arborização do entorno e presença de terrenos baldios, o volume de material orgânico presente no interior da boca de lobo é capaz de reduzir o volume da caixa coletora, dificultando o escoamento da água pluvial (Figura 43 e

44). O BL 05 apresentou camada de 23 cm de matéria orgânica, juntamente com solo.

Figura 43 - Caixa coletora do BL 05



Fonte: Autor (2019)

Figura 44 - Caixa coletora do BL 04



Fonte: Autor (2019)

De acordo com o Plano de Drenagem Pluvial de Palmas, a limpeza das bocas de lobo é um serviço necessário, devendo ser realizado a cada seis meses. Percebeu-se, porém, que essa limpeza ocorre apenas superficialmente se limitando

à retirada do lixo da superfície das grelhas e bocas captadoras. Parte desse descuido está associada à dificuldade de acesso ao interior dos BL's, visto que tanto as tampas quanto as grades são pesadas e exigem um corpo de funcionários e ferramentas para abri-las. (Figura 45 e 46).

Figura 45 - Presença de lixo na caixa coletora



Fonte: Autor (2019)

Figura 46 - Boca de lobo de guia limpa



Fonte: Autor (2019)

Além da presença de lixo orgânico no interior das bocas de lobo, também foi possível notar que há o problema com a integração de projetos, em que a tubulação de abastecimento de água intercepta as bocas de lobo e seus ramais (Figura 48 e 49), a depender da posição do BL.

Figura 47 - Intercepção da boca de lobo



Fonte: Autor (2019)

Figura 48 - Intercepção do ramal coletor



Fonte: Autor (2019)

Tratando-se dos poços de visitas, há apenas a presença de dois ao longo do trecho de análise. Isso pode ser considerada como falha de projeto, visto que de acordo com as diretrizes do Departamento de Águas e Energias Elétricas de São Paulo, deve haver um poço de visita a cada 150 m para tubulação de 600 mm. Além do mencionado, os poços de visitas não recebem a devida manutenção no que tange a limpeza, como é possível verificar na Figura 49 e 50 a presença da camada de material orgânico no interior do poço de visita. No PV 01 a camada chega a medir 20 cm, enquanto no PV 02 fica em torno de 10 cm.

Figura 49 – Vista superior do PV 01



Fonte: Autor (2019)

Figura 50 - Vista interna do PV 01



Fonte: Autor (2019)

Em termos estruturais, os elementos de drenagem estão em bom estado. Há ressalva apenas às bocas de lobo que foram consideradas caixas de drenagem simples, essas estão com suas funcionalidades totalmente prejudicadas, porque suas tubulações estão obstruídas por lixo e resíduos orgânicos (Figura 51 e 52). Além disso, parte da tubulação de PVC está deteriorada e o seu diâmetro é inferior ao mínimo estabelecido de 400 mm.

Figura 51 - Caixa de drenagem simples



Fonte: Autor (2019)

Figura 52 – Tubulação em PVC deteriorada Ø150mm



Fonte: Autor (2019)

5.2 Análise topográfica

Abordando a topografia do terreno e analisando a escolha de locação das bocas de lobo, pode-se perceber um dos causadores de alagamentos, pois os BL's nem sempre estão posicionados no ponto mais baixo do pavimento.

Quanto à seção transversal da plataforma de rolamento, é possível verificar que nem todas estão dentro do que o DNIT (2006) estabelece (Quadro 2), como é o caso do pavimento perpendicular ao BL 07 que apresenta inclinação de 0,62%, quando o mínimo deveria ser 1,5%. Maiores inclinações implicam em maiores velocidades e danos ao pavimento, no passo que inclinações muito pequenas provocam baixas velocidades, gerando empoçamento de água.

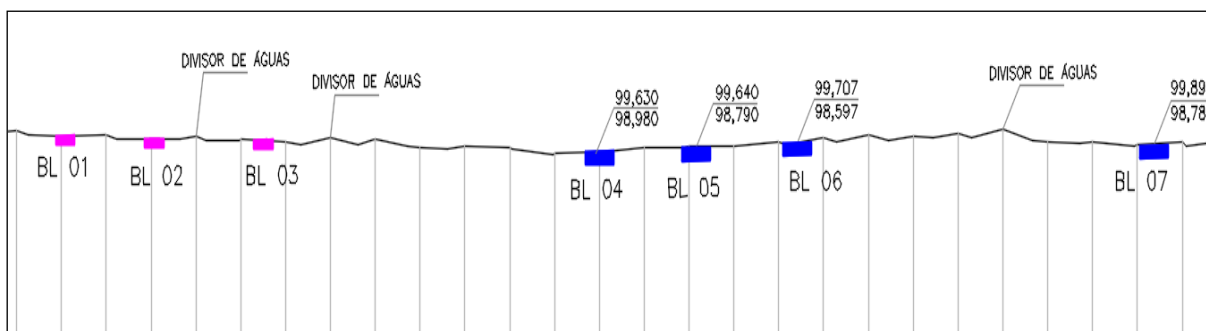
Quadro 2 - Nível do terreno na seção transversal da pista

Alinhamento da seção	Nível do terreno (m)			Diferença de nível entre bordas (m)	Inclinação da pista
	Borda oeste	Eixo da pista	Borda leste		
BL-01	100,179	100,153	99,995	0,184	1,31%
BL-02	100,287	100,092	99,906	0,381	2,72%
BL-03	100,036	99,952	99,799	0,237	1,69%
BL-04	99,947	99,726	99,630	0,317	2,26%
BL-05	99,944	99,802	99,640	0,304	2,17%
BL-06	100,049	99,925	99,707	0,341	2,44%
BL-07	99,982	99,903	99,895	0,087	0,62%

Fonte: Autor

Tratando-se da análise longitudinal da Av. Teotônio Segurado, observou-se o desnível ao longo da borda leste, visto que as bocas de lobo se concentram nesse lado da Avenida. A BL-04 encontra-se no ponto mais baixo que os demais, tendo 16 cm de diferença em relação ao BL-03. Sendo assim, quando ocorrem chuvas intensas, as águas pluviais da bacia de contribuição dos BL's vizinhos alimentam a bacia de contribuição do BL-04, sobrecarregando-o.

O perfil topográfico da pista leste da Avenida Teotônio Segurado (Anexo C), nos mostra que as bocas de lobo mais altas são os BL-01, BL-02 e BL-07, posicionados nas extremidades do trecho de estudo. Enquanto os mais baixos são os BL-04 e BL-05, sendo coincidentemente os que estão inclusos na área da pista onde ocorre maior incidência de alagamento (Figura 53).

Figura 53 - Perfil da borda leste e localização das bocas de lobo

Fonte: SEISP (2019), adaptado

5.3 Eficiência das bocas de lobo

As dimensões das bocas de lobo foram coletadas no trecho em análise. Para melhor apresentá-las, criou-se um quadro com as dimensões de cada BL (Quadro 3).

Quadro 3 - Dimensões das bocas de lobo

Boca de Lobo	Tipo	Dimensões de BL			Dimensões da grelha		
		Aberturas	Comp. (m)	Altura (m)	Nº de grelhas	Comp. (m)	Largura (m)
BL-01	Cx de drenagem	1	1,00	0,12	0	-	-
BL-02	Cx de drenagem	1	1,00	0,12	0	-	-
BL-03	Cx de drenagem	1	1,00	0,12	0	-	-
BL-04	De guia	3	1,00	0,12	0	-	-
BL-05	Combinada	3	1,00	0,12	3	1,00	0,45
BL-06	Combinada	3	1,00	0,12	3	1,00	0,45
BL-07	De guia	3	1,00	0,12	0	-	-

Fonte: Autor

Das bocas de lobo, três são consideradas caixas de drenagem simples devido à ausência da caixa coletora, ou seja, os BL-01, BL-02 e BL-03. Em cima disso desconsiderou-se no cálculo a capacidade máxima de vazão de engolimento da rede de drenagem (Figura 53 e 54). As demais são múltiplas, sendo duas com abertura na guia (BL 04 e BL 07), e duas combinadas com grelha (BL 05 e BL 06).

5.3.1 Análise geral

Após levantar a área da bacia de contribuição delimitada em cima da topografia, foi determinada a vazão produzida pela precipitação ocorrida (Quadro 4).

Quadro 4 - Vazão total da bacia de contribuição

Área de contribuição (Km ²)	C	I (mm/h)	Q (m ³ /s)
0,067681	0,74	166,28	2,32

Fonte: Autor

Abaixo está apresentada a vazão máxima de engolimento das bocas de lobo do trecho de estudo, calculadas seguindo as dimensões coletadas in loco. As vazões foram divididas em dois grupos, isso porque parte da água da chuva é captada pela abertura na guia e parte captada pela grelha (Quadro 5).

Quadro 5 - Vazão de máxima de engolimento das bocas de lobo

Boca de lobo	Tipo	Captação na guia					Captação por grelhas				Q total do BL (m ³ /s)
		g (m/s ²)	Área (m ²)	di (m)	h (m)	Q1 (m ³ /s)	Perímetro do BL (m)	Nº Grelhas	y (m)	Q2 (m ³ /s)	
BL 04	De guia	9,81	0,36	0,15	0,12	0,32	-	-	-	-	0,32
BL 05	Comb.*	9,81	0,36	0,15	0,12	0,32	2,9	3	0,15	0,86	1,18
BL 06	Comb.*	9,81	0,36	0,15	0,12	0,32	2,9	3	0,15	0,86	1,18
BL 07	De guia	9,81	0,36	0,15	0,12	0,32	-	-	-	-	0,32
										Q total bocas de lobo	3,00m³/s

Fonte: Autor. *Boca de lobo combinada, com a presença de grelha e abertura na guia

Comparando os quadros 4 e 5, conclui-se que o conjunto das bocas de lobo trabalhando simultaneamente, de forma teórica, apresenta vazão de engolimento maior que a vazão da bacia, atendendo assim à precipitação (Quadro 6).

Quadro 6 - Comparativo de vazões

Vazão máxima de engolimento das bocas captadoras + grelhas (m ³ /s)	Vazão da bacia de contribuição (m ³ /s)
3,00	2,32

Fonte: Autor

Com os resultados da vazão máxima precipitada e capacidade máxima de engolimento das bocas de lobo, pode-se concluir que se em perfeito estado de funcionamento, os BL's seriam capazes de suportar chuvas elevadas sem causar problemas à população. Contudo, sob a recomendação da SURDEHRSA (2002), deve-se utilizar um fator de redução para a capacidade de escoamento das bocas

de lobo devido a obstrução gerada por detritos. Os novos valores para as vazões de engolimento das bocas de lobo estão apresentadas no quadro 7.

Quadro 7 - Vazão de engolimento das bocas de lobo com fator de redução

Boca de lobo	Tipo	Vazão de engolimento calculada (m³/s)	Fator de redução	Vazão de engolimento com fator de redução (m³/s)
BL 04	De guia	0,32	80%	0,26
BL 05	Combinada	1,18	65%	0,77
BL 06	Combinada	1,18	65%	0,77
BL 07	De guia	0,32	80%	0,26
Vazão total de engolimento com fator de redução				2,05

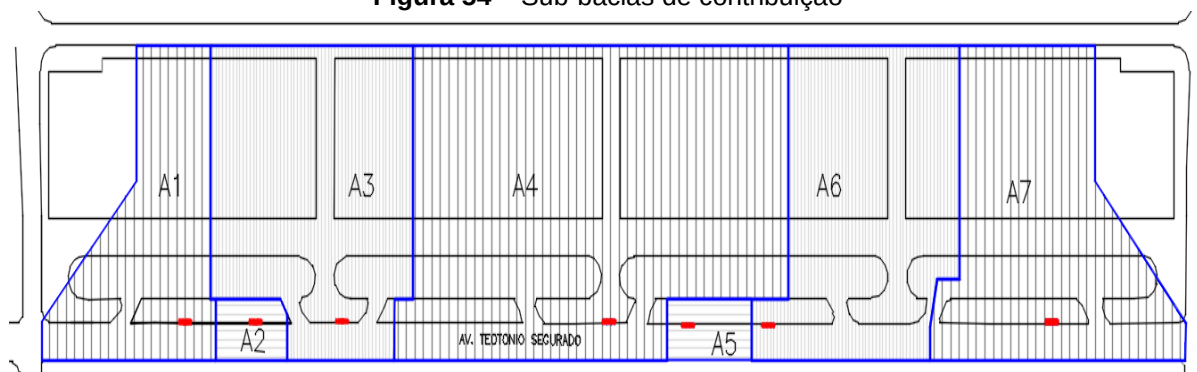
Fonte: Autor

Em cima disso, as bocas de lobo existentes não apresentam capacidade de engolimento suficiente para a vazão de precipitação da bacia de contribuição. Sendo assim, foi necessário proceder a análise individual dos BL's e um novo dimensionamento para os elementos de drenagem que apresentarem ineficiência no escoamento de águas pluviais.

5.3.2 Análise individual

As sub-bacias foram definidas levando em consideração todo o conjunto existente no local, como as calçadas de passeios, urbanização, meios-fios e todas as construções que interferem no percurso do escoamento da água. Com isso, foi feito o cruzamento entre as informações visuais citadas e as plantas topográficas disponibilizadas pela Prefeitura (Anexo A). A Figura 54 ilustra as áreas de contribuições para cada boca de lobo da pista leste da Av. Teotônio Segurado, entre a Av. LO-13 e Av. LO-15. É possível verificar os detalhes no anexo citado.

Figura 54 – Sub-bacias de contribuição



Fonte: Autor (2019)

Levantadas as áreas de contribuições, determinou-se a vazão precipitada para cada boca de lobo. Os resultados serão apresentados a seguir (Quadro 8), comparando-os com a capacidade de engolimento individual de cada BL.

Quadro 8 - Comparação de vazões individuais por boca de lobo

Boca de lobo	Vazão da guia (m ³ /2)	Vazão da grelha Q(m ³ /2)	Área de contribuição (km ²)	Vazão de captação (m ³ /s)	Vazão de captação com fator de redução (m ³ /s)	Vazão das sub-bacias (m ³ /s)
	Q1	Q2		Q1 + Q2		
BL 04	0,32	-	0,02347	0,32	0,256	0,807
BL 05	0,32	0,86	0,00109	1,18	0,767	0,038
BL 06	0,32	0,86	0,01131	1,18	0,767	0,389
BL 07	0,32	-	0,01149	0,32	0,256	0,395

Fonte: Autor

Como é possível notar, apesar de inicialmente as bocas de lobo serem suficientes para a vazão precipitada na bacia de contribuição, quando analisadas individualmente mostraram-se insuficientes na maior parte das situações. Os BL-05 e BL-07 estão superdimensionados, enquanto os demais se encontram subdimensionados, consequentemente gerando alagamento.

5.3.3 Análise da tubulação coletora

A tubulação coletora consiste no ramal entre a boca de lobo e o poço de visita (ou caixa de ligação). Esse não costuma ser dimensionado, para tal adota-se 400 mm como diâmetro mínimo e 1% como declividade mínima (Tomaz, 2015).

Deste modo, a análise da tubulação coletora aconteceu de forma simples e direta. As tubulações coletoras que possuem diâmetros inferiores a 400 mm serão consideradas ineficientes, no passo que as tubulações acima do mínimo estabelecido serão consideradas eficientes. O quadro 9 apresenta os resultados desta avaliação.

Quadro 9 - Verificação dos ramais coletores

Boca de lobo	Diâmetro da tubulação coletora (mm)	Situação
BL 01	150	Ineficiente
BL 02	150	Ineficiente
BL 03	150	Ineficiente
BL 04	600	Eficiente
BL 05	600	Eficiente
BL 06	600	Eficiente
BL 07	600	Eficiente

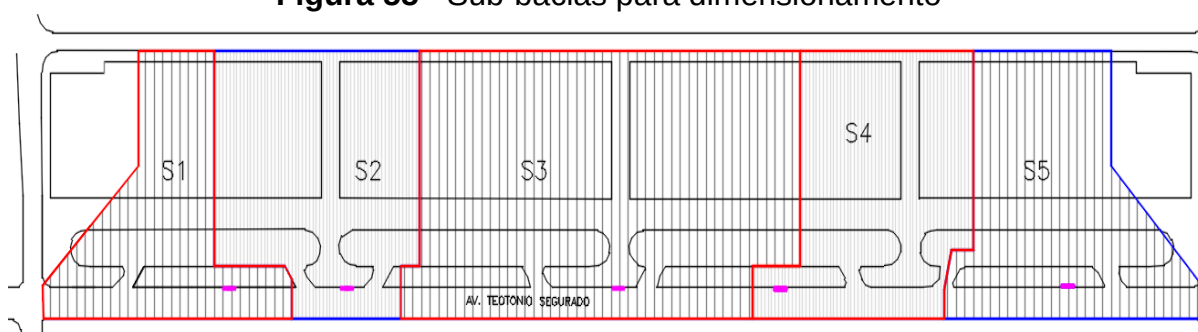
Fonte: Autor

5.4 Dimensionamento para a rede de drenagem

5.4.1 Novo dimensionamento

Em cima das sub-bacias definidas no Item 5.3.2, realizou-se uma nova análise para a determinação dos locais mais convenientes para a instalação de novas bocas de lobo. Para isso levou-se em consideração também as variações de nível do leito carroçável. Tratando das sub-bacias, essas foram divididas em cinco áreas de contribuições, e em cada sub-bacia foi posicionada uma boca de lobo (Figura 55 e Apêndice B).

Figura 55 - Sub-bacias para dimensionamento



Fonte: Autor (2019)

Definido a locação das bocas de lobo, executou-se o traçado da rede de drenagem ligando as bocas de lobo aos poços de visitas (ou caixas de ligações), e posteriormente interligando os poços de visitas entre si.

Todo dimensionamento foi realizado em cima do traçado definido e também segundo as diretrizes apresentadas no Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba – PR (SUDERHSA, 2002).

Como ponto de partida para o dimensionamento dos ramais, foi determinado em 4m a profundidade máxima de escavação para a vala de drenagem. Isso ocorreu porque a nova rede de drenagem não pode interferir na construção da galeria existente para a descarga desta microdrenagem. Os resultados quanto ao dimensionamento dos ramais responsáveis por transportar as águas pluviais de uma caixa de ligação aos poços de visita e posteriormente à galeria, encontram-se no quadro 10.

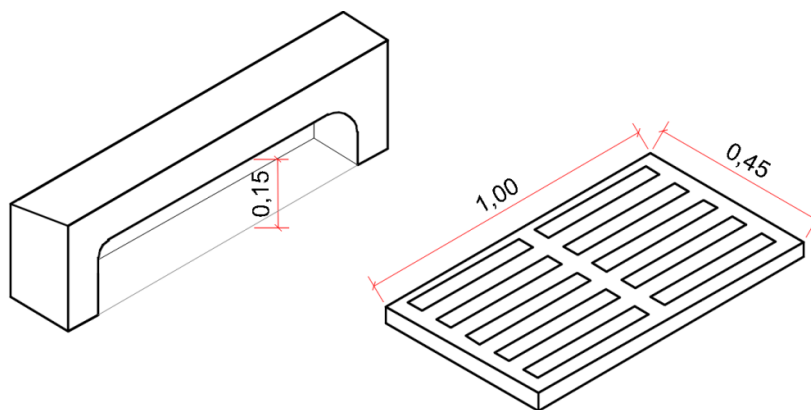
Quadro 10 - Dimensionamento dos ramais

Trecho	L (m)	Área do trecho (km²)	Área acum. (km²)	Q (m³/s)	D (m)	DN (mm)	Cota do terreno (m)		Cota de greide (m)		Profund. (m)		S (m/m)	y (m)	y/D	V (m/s)	te (min)	tc (min)
							Mont.	Jus.	Mont.	Jus.	Mont.	Jus.						
1 -> 2	65	0,00806	0,008	0,275	0,506	600	100,25	100,13	99,25	98,93	1,0	1,20	0,00500	0,36	0,60	1,65	0,657	10
2 -> 3	149,72	0,01215	0,020	0,691	0,687	800	100,13	100,00	98,93	98,00	1,2	2,00	0,00618	0,48	0,60	2,22	1,124	10,66
3 -> 4	90,45	0,02443	0,045	1,526	0,944	1000	100,00	100,00	98,00	97,50	2,0	2,5	0,00553	0,72	0,72	2,55	0,591	11,78
4-> 5	158,81	0,01143	0,056	1,916	1,004	1200	100,00	100,00	97,50	96,50	2,5	3,50	0,00630	0,68	0,57	2,89	0,916	12,37
5 -> 6	102,65	0,01149	0,068	2,32	1,085	1200	100,00	99,875	96,50	95,88	3,5	4,0	0,00609	0,82	0,69	2,98	0,574	13,29
Total	566,63	0,06768		2,32														13,86

Fonte: Autor

Por fim, foram dimensionadas as bocas de lobo para a rede de drenagem. Visando criar um padrão de execução para essas instalações, ficou definido que todas as novas bocas de lobo serão do tipo combinadas – essas apresentam maior vazão de engolimento (Figura 56), com a presença de bocas captadoras e grelhas. Além disso, adotou-se altura de 15 cm para as bocas de lobo para melhor satisfazer a vazão de escoamento. Os resultados do dimensionamento encontram-se no quadro 11 e 12.

Figura 56 - Boca de lobo combinada



Fonte: Autor (2019)

Quadro 11 - Dimensionamento das bocas de lobo

	Sub-bacias (km ²)	Vazão da sub-bacia de contribuição Q (m ³ /s)	Capacidade de vazão para 1m de boca de lobo combinada (m ³ /s)	Comprimento mínimo necessário para a boca de lobo (m)	L adotado (m)
BL 01A	0,00806	0,28	0,385	0,720	1,00
BL 02A	0,01215	0,42	0,385	1,085	2,00
BL 03A	0,02443	0,84	0,385	2,182	3,00
BL 04A	0,01143	0,39	0,385	1,021	2,00
BL 05A	0,01149	0,40	0,385	1,026	2,00

Fonte: Autor

Quadro 12 - Dimensões para as bocas de lobo

Boca de lobo	Abertura na guia			Grelha		
	Nº de bocas coletoras	Comprimento unitário (m)	Altura (m)	Nº de grelhas	Comprimento unitário (m)	Largura (m)
BL 01A	1	1,00	0,15	1	1,00	0,45
BL 02A	2	1,00	0,15	2	1,00	0,45
BL 03A	3	1,00	0,15	3	1,00	0,45
BL 04A	2	1,00	0,15	2	1,00	0,45
BL 05A	2	1,00	0,15	2	1,00	0,45

Fonte: Autor

O projeto com o traçado final e especificações encontram-se no Apêndice.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho, pode-se concluir que os problemas relacionados à drenagem urbana da pista leste da Avenida Teotônio Segurado, no trecho entre a Av. LO-13 e Av. LO-15, são referentes ao dimensionamento das bocas de lobo em relação às suas sub-bacias de contribuição.

A análise realizada mostrou que as bocas de lobo possuem capacidade suficiente para satisfazer a vazão de escoamento da bacia de contribuição total, contudo isso não ocorre devido à escolha equivocada do seu posicionamento ao longo da plataforma de rolamento. Isso significa que, mesmo o dimensionamento estando correto, alguns BL's estão posicionados em pontos altos de forma que as águas pluviais não chegam até suas bocas captadoras.

De acordo com dados levantados *in loco* constatou-se que algumas bocas estão totalmente obstruídas e apresentam tubulações com diâmetro muito inferior ao necessário.

Em termos de manutenção e limpeza urbana, essas ocorrem de forma superficial, de tal modo que no interior de algumas bocas de lobo há camadas de resíduos orgânicos. Isso confirma o descumprimento do Plano Municipal de Saneamento Básico de Palmas, que prever a limpeza e manutenção das bocas de lobos e poços de visitas a cada seis meses.

O alagamento, portanto, acontece com a contribuição de todos os fatores citados. Para solucionar esse problema, foi proposto um novo dimensionamento de ramais e bocas de lobo, associado a um novo projeto de drenagem para o trecho de análise, além de algumas medidas mitigadoras não-estruturais.

6.1 Análise conclusiva

Quanto ao estado de limpeza das bocas de lobo, o BL 01, BL 02 e BL 03 estão totalmente obstruídos, ou seja, não desempenham seu papel de captação, ocorrendo o mesmo com sua tubulação coletora. O BL 05 possui uma camada de 23 cm de folhas e solo no seu interior e o BL 04 apresenta uma camada rasa apenas com folhas, enquanto os demais apresentaram pouca presença de terra. Em relação aos poços de visitas, ambos estão com lixo de resíduos orgânicos, sendo que o PV 01 apresenta uma camada de 20 cm enquanto o PV 02 apresenta 10 cm.

Durante a análise constatou-se que os BL 01, BL 02 e BL 03 foram executados com tubulações PVC com diâmetro de 150 mm, inferior ao mínimo

estabelecido por norma. Além disso, fica evidente que estão subdimensionados quando comparado ao diâmetro definido através do dimensionamento realizado neste trabalho, onde ficaram definidas tubulações de 600 e 800 mm para seus os ramais principais.

Ainda sobre a análise das vazões das bocas de lobo, teoricamente em perfeitas condições de limpeza, satisfaz a vazão de escoamento da bacia de contribuição. Contudo, quando analisadas individualmente, os BL's 04 e 07 estão subdimensionadas, enquanto os BL's 05 e 06 estão superdimensionados.

Concluiu-se ainda que a topografia da plataforma de rolamento também contribui para as ocorrências de alagamento. Ela possui suas extremidades com nível maior do que o centro da pista, desta forma colabora com o acúmulo de água sobre as bocas de lobo 04 e 05, conseqüentemente sobrecarregando-as.

6.2 Propostas de ações mitigadoras

Um novo dimensionamento para a rede de drenagem foi necessário, de forma que satisfaça toda a vazão precipitada na bacia de contribuição sem que cause problemas aos usuários.

Para curto e longo prazo, recomenda-se a adoção de medidas não-estruturais de controle na fonte, no intuito de diminuir a vazão de contribuição, e conseqüentemente desafogar as bocas de lobo.

Sugere-se também a elaboração de normas que conduzam à aplicação de práticas integradas de biorretenção, como a preservação de áreas verdes nos entorno das propriedades, e desenvolvimento de incentivos para abatimento do efeito da urbanização na drenagem urbana, podendo ser realizado através de descontos na cobrança de taxas municipais, ou por meio da valorização do empreendimento via certificação e premiação. Além da fiscalização com relação ao uso e ocupação do solo no que tange a porcentagem de permeabilidade do terreno.

Por fim, propõe-se que a limpeza do interior das instalações de drenagem ocorra conforme o que está presente no Plano Municipal de Saneamento. É fundamental que a população cobre isso dos órgãos responsáveis.

6.3 Sugestões de trabalhos futuros

Com base nos resultados das análises e em dados obtidos através do dimensionamento da rede de drenagem, recomenda-se como estímulo aos desafios impostos pela drenagem urbana da Avenida Teotônio Segurado:

- Um estudo aprofundado sobre a viabilidade econômica da implantação de uma nova rede de drenagem em confronto a ampliação da rede existente;
- Proposta de projeto de drenagem urbana de forma que mantenha a rede de drenagem atual na íntegra e insira mais opções de escoamento para reduzir a vazão de contribuição na fonte, como por exemplo, instalações de drenagem para os estacionamentos;
- Propostas de ampliações para a rede de drenagem existente, inserindo elementos de drenagem urbana não convencional e sustentável.

REFERÊNCIAS

- ADORNO, L. F. M; FIGHERA, D. R. **A trajetória da política ambiental de Palmas enquanto capital ecológica**. In: ALMEIDA, M. G. (Org.). *Tantos cerrados*. Goiânia: Vieira, p. 205-220, 2005.
- ARAÚJO, P. R; TUCCI, C. E. M; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação e controle de drenagem urbana**. Porto Alegre: Editora Universidade (UFRGS), 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS PRODUTORES DE TUBOS DE CONCRETO - ABTC. **História da pesquisa dos valores do coeficiente de manning**. São Paulo, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8890: 2007. **Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários Requisitos e métodos de ensaios**. Rio de Janeiro. 2007
- BACIAS hidrográficas e sua importância**. São Carlos: VETIVER, 2018. Disponível em: <<http://vetiverconsultoria.com.br>>. Acesso em: 22 de abril de 2019.
- BERTONE, L. F. MELLO, N. A. **PALMAS: Perfil ambiental e gestão urbana convergem para a sustentabilidade ambiental?**. Fortaleza, Mercator, Vol. 03, n 6, 2004. Disponível em: < <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/128>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.
- BERTONI, J. C.; TUCCI, C. E. M. **Urbanização** In: BERTONI, J. C. e TUCCI, C. E. M. (Org). *Inundações Urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.
- BLAKE, G. J. **The interception process**. In: *Prediction in Catchment Hydrology*. Australian Academy of Science, 1975.
- BOTELHO, M. H. C. **Águas de chuva: Engenharia das águas pluviais nas cidades**. 3ª Ed. São Paulo: Blucher, 2011.
- BRITO, E. P. **Produção e reprodução do espaço urbano de palmas**, Tocantins. 2005. Monografia (Bacharelado em Geografia) – UFT, Porto Nacional, 2005.
- CANHOLI, A. P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2ª Ed. São Paulo: Oficina de textos, 2014.
- CENTRO DE ESTUDO E PESQUISA DE ENGENHARIA E DEFESA CIVIL – CEPED/UFSC. **Atlas brasileiro de desastres naturais 1991 – 2012**. Florianópolis, CEPED, 2017. Disponível em: <www.ceped.ufsc.br/atlas-brasileiro-de-desastres-naturais-2012/>. Acesso em: 08 de junho de 2019.
- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R.; MAYS, L. W. **Applied hydrology**. New York: McGraw– Hill, 1988. Reimpresso por McGraw-Hill Companies, Inc., Edição Tata McGraw, 2010.
- CORRÊA, R. L. **Região e organização espacial**. São Paulo: Editora Ática, 1987.

DELGADO N. C. F. **Hidrologia na drenagem das rodovias**. 2008. p. 20-21. Programa de Pós-Graduação Lato Senso, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <www.deer.mg.gov.br>. Acesso em: 6 de junho de 2019.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS E RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO – DER SP. **Instruções de projetos de drenagem**. São Paulo, 2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES – DNIT. **Álbum de projetos**: tipo de dispositivos de drenagem. Rio de Janeiro, 2006.

_____. **Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem**. 2ª ed. Rio de Janeiro, 2005.

IBGE. **Pesquisa nacional de esgotamento sanitário adequado**. 2010.

IFTO. **Diretrizes para elaboração de trabalho de conclusão de curso de graduação**. Palmas, 2013.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INMET. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa**. 2019.

_____. **Estação meteorológica**. 2011. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 23 de junho de 2019.

KURODA, C.Y. **Análise do sistema de drenagem urbana da região do Parque de Exposições Francisco Feio Ribeiro, Maringá – PR**. 2016. 50 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Urbana) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016.

LIRA, E. R. **A Gênese de Palmas – TO**. 1995, 293f. Dissertação de Mestrado em Geografia – Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente - SP, 1995.

LOHMANN, M. **Análise dos alagamentos no município de Curitiba entre os anos de 2005 a 2010**. Bauru: AGB - Revista Ciência Geográfica, V. 17, p 135-149, 2013. Disponível em: < http://www.agbbauru.org.br/publicacoes/revista/revista_xvii_1.htm>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

LOPES, R. C; SOUZA, L. B. **A questão das inundações em Palmas (TO), segundo a percepção de moradores e usuários: contribuição ao processo preventivo por meio da educação ambiental**. 5ª Ed. Porto Nacional: Interface, 2012.

MASCARÓ, J. L. **Loteamentos urbanos**. 1ª Ed. Porto Alegre: L. Mascaró, 2003.

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

PINTO, N. L. S.; HOLTZ, A. C. T.; MARTINS, J. A.; GOMIDE, F. L. **Hidrologia básica**. São Paulo: Editora Blücher, 1976.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PALMAS – PMP. **Diagnóstico socioterritorial: Programa de aceleração de crescimento.** 1ª Versão. Palmas, 2015. Disponível em: <www.palmas.to.gov.br/media/doc/3_11_2016_17_9_31.pdf>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

_____. **Plano municipal de saneamento básico de Palmas – TO.** Volume III. Palmas, 2014.

RAMOS, V. M. et. al. **Avaliação de Metodologias de Determinação do Cálculo de Áreas de Contribuição.** Revista Brasileira de Geomorfologia. Ano 4, Nº 2, p. 41-49, 2003; Disponível em: <<http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/23>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

SANTOS, L. C. C. **Estimativa de Vazões Máximas de Projeto por Modelos Determinísticos e Probabilísticos.** 2010. 173 p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Ambiental) – UFES, Espírito Santo, 2010. Disponível em <http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/Luciana_Cabral_Costa_Santos_Dissertacao.pdf> Acesso em: 20 de junho de 2019.

SILVA, D. D. **Equações de intensidade-duração-frequência da precipitação pluvial para o estado de Tocantins.** Viçosa: Engenharia na Agricultura, Vol. 11, Nº1, p 7-14, 2003. Disponível em: <<https://periodicos.ufv.br/ojs/reveng/search>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

SILVEIRA, A. L. **Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica.** In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª Ed. Porto Alegre. UFRGS: ABRH, 2001. Cap.2, p.35-51.

SILVEIRA, A. L. LOUZADA, J. A. BELTRAME, L. **Infiltração e armazenamento do solo.** In: TUCCI, C. E. M. (org.). Hidrologia: ciência e aplicação. 2ª Ed. Porto Alegre. UFRGS: ABRH, 2001. Cap.9, p.335-365.

SOUZA, J. C. B. **A Influência Do Método De Escolha Do Parâmetro “c” Na Determinação De Equações De Chuvas Intensas.** 2014. 13 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pernambuco, Recife, 2014;

SOUZA, L. B. **Novas cidades, velhas querelas: Episódios pluviais e seus impactos na área urbana de Palmas (TO), primavera-verão 2009/2010.** Fortaleza, Mercator, Vol. 9, Nº 1, p 165-177, 2010. Disponível em: <<http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/539>>. Acesso em: 08 de junho de 2019.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL – SUDERHSA. **Plano diretor de drenagem para a bacia do rio Iguaçu na região metropolitana de Curitiba - PR.** Curitiba, 2002.

TETU, R. Engenheiro agrônomo. **Transtornos causados por alagamentos.** Palmas, 21 mar. 2019 (informação verbal, transmitido pela rádio CBN Tocantins).

TOMAZ, P. **Curso de manejo de águas pluviais: Microdrenagem.** São Paulo, 2015. Disponível em:< <http://www.pliniotomaz.com.br/>>. Acesso em: 09 de junho de 2019.

TUCCI, C. E. M. **Controle de Enchentes**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS e Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 1993.

_____. **Gestão da Drenagem Urbana**. Brasília: CEPAL Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012. Disponível em:
<https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/38004/LCBRSR274_pt.pdf>.
Acesso em: 20 de maio de 2019.

_____. **Hidrologia: Ciência e Aplicação**. 2ª Ed. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS, 2001.

TUCCI, C. E. M.; MELLER, A. **Regulação das Águas Pluviais Urbanas**. Porto Alegre: Rega, Vol. 4, Nº 1, p. 75-89, 2007. Disponível em:
<<https://www.abrh.org.br/SGCv3/index.php?PUB=2&ID=69&SUMARIO=846>>.
Acesso em: 23 de junho de 2019.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. (Org.); BARROS, M. T. (Org.). **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade – UFRGS e Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH, 1995.

VELASQUES, Ana Beatriz Araújo. **A concepção de Palmas (1989) e sua condição moderna**. 235 f. Tese de doutorado – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. UFRJ, Rio de Janeiro, 2010.

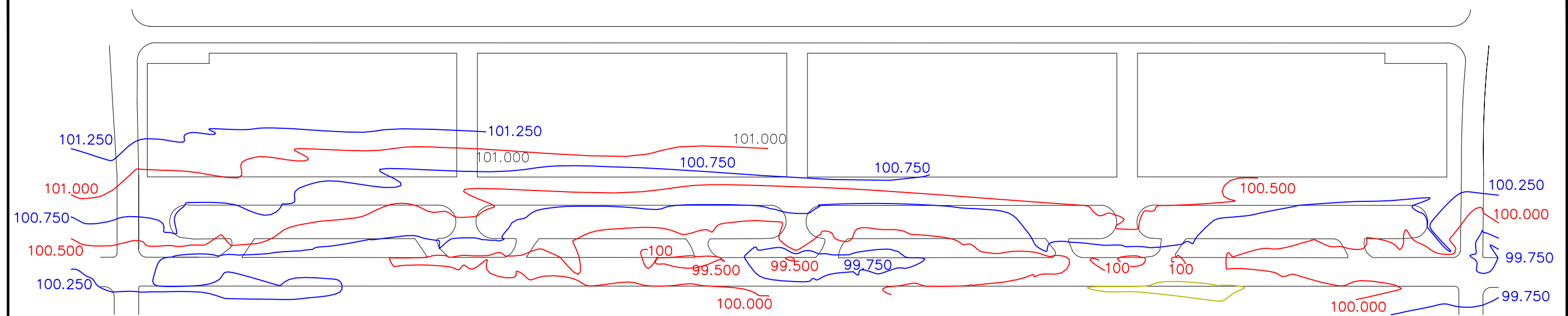
APÊNDICE A – LEVANTAMENTO DA REDE DE DRENAGEM EXISTENTE

APÊNDICE B – SUB-BACIAS DE CONTRIBUIÇÕES

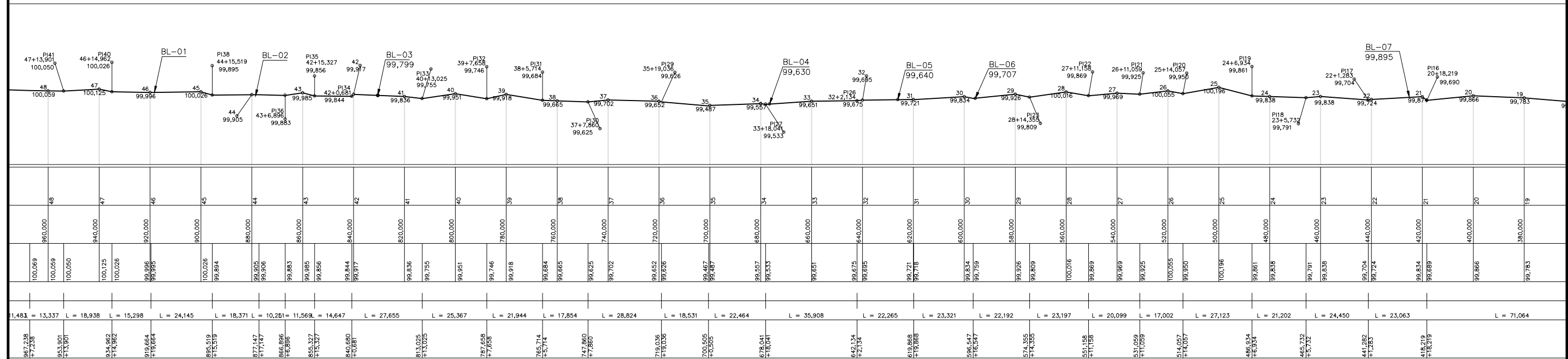
**APÊNDICE C – PROJETO DA REDE DE DRENAGEM ELABORADO SEGUNDO O
DIMENSIONAMENTO DESENVOLVIDO NESTE TRABALHO**

ANEXO A – PLANTA TOOGRÁFICA E PERFIL DA ÁREA ANALISADA

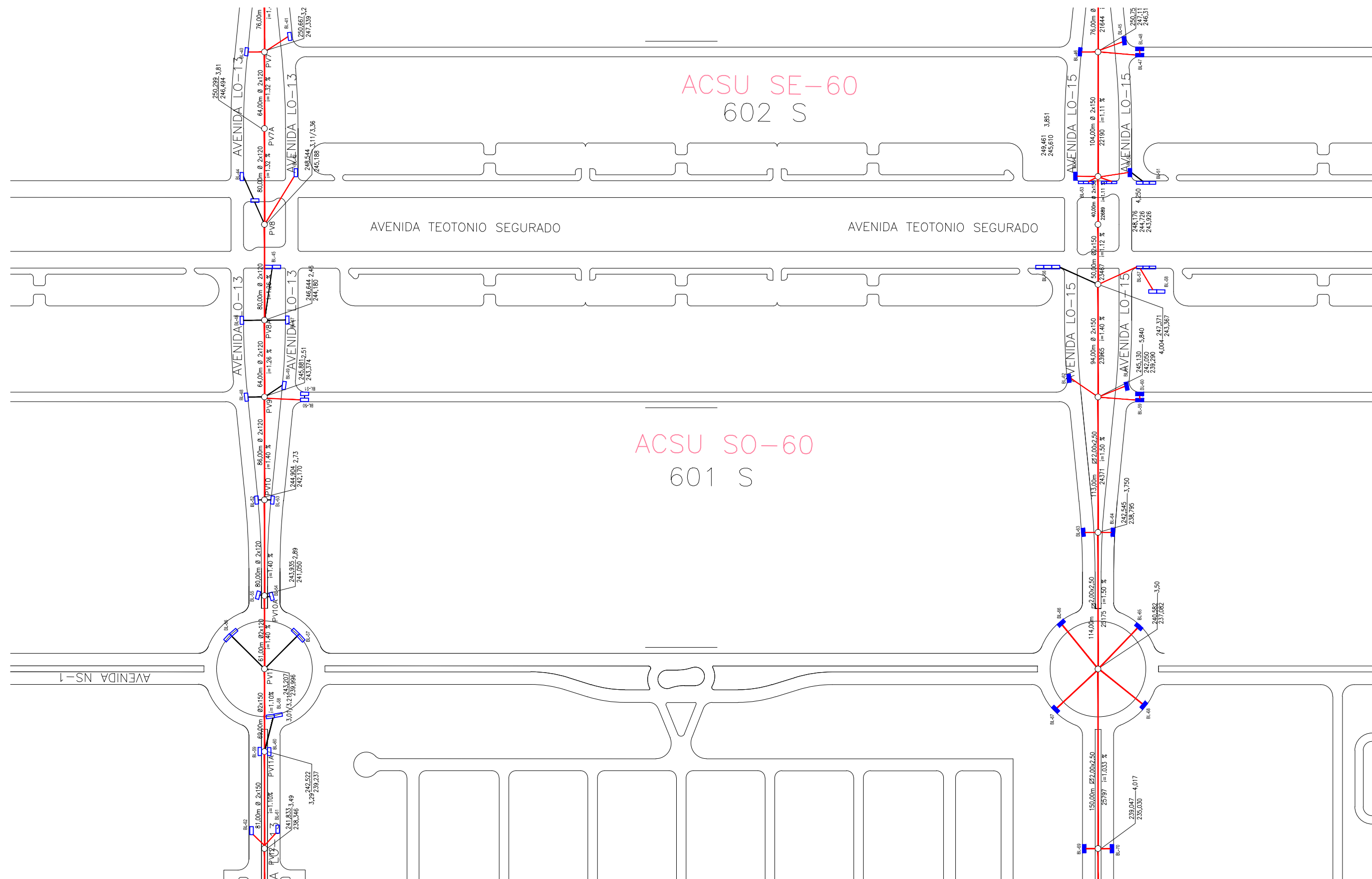
ANEXO B – CADASTRO GERAL DE DRENAGEM URBANA DE PALMAS – TO

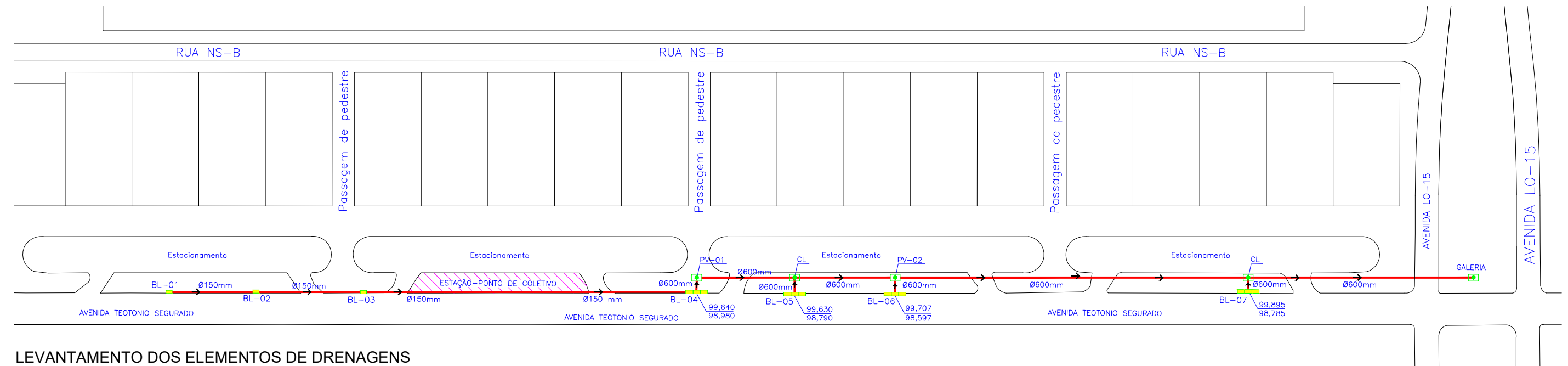


Planta topográfica

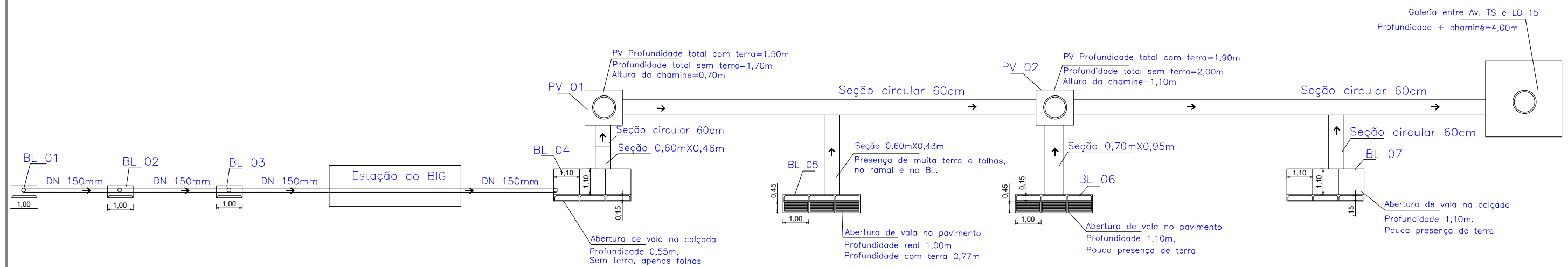


Perfil topográfico - Borda leste da Av. Teotônio Segurado

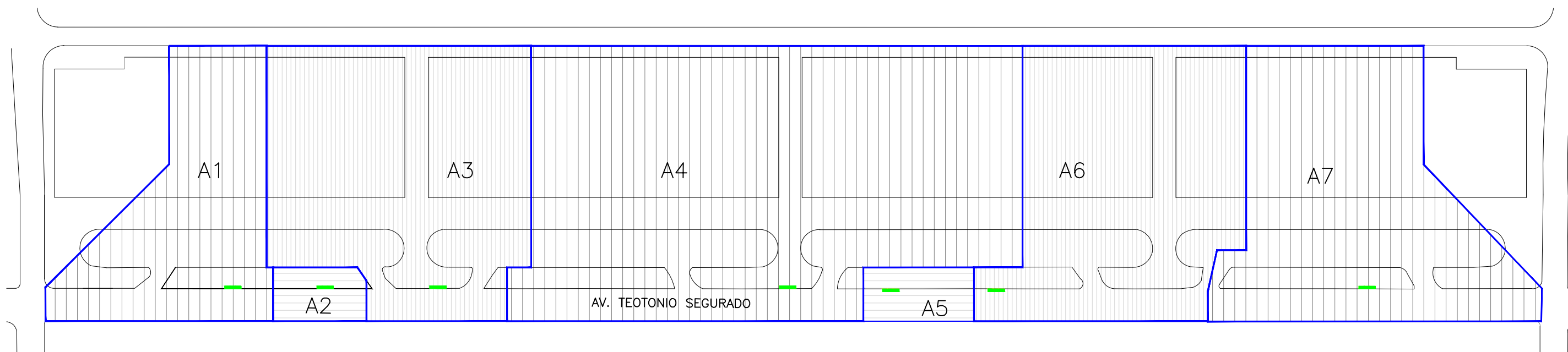




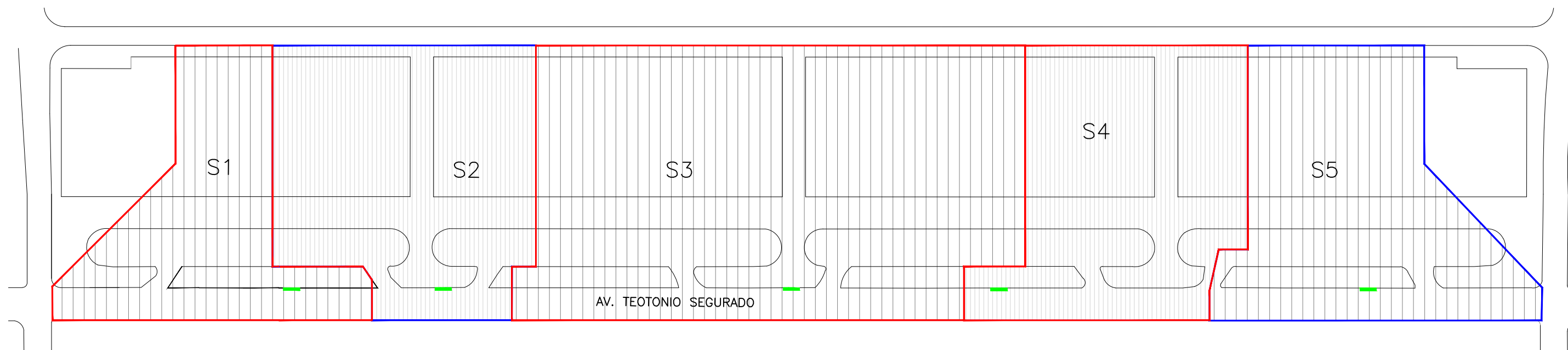
LEVANTAMENTO DOS ELEMENTOS DE DRENAGENS



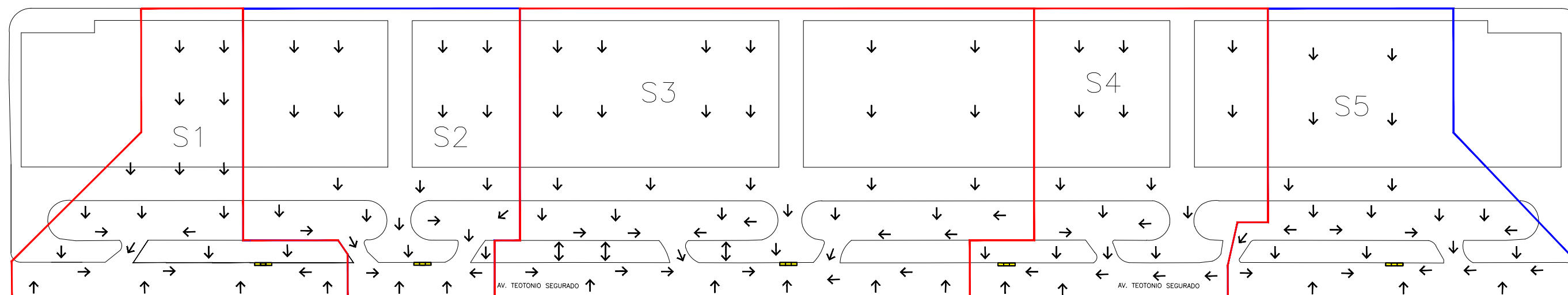
LEVANTAMENTO DAS DIMENSÕES DAS BOCAS DE LOBO



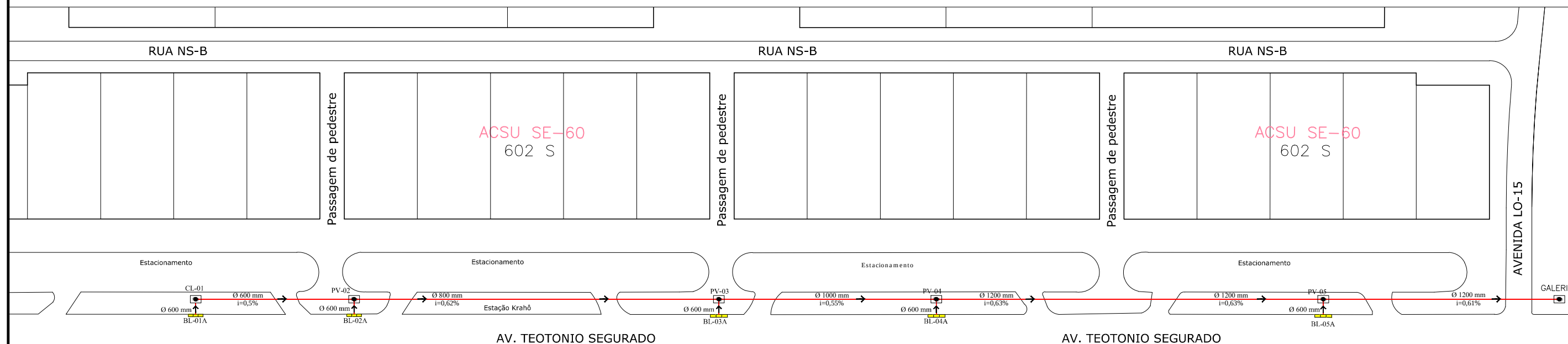
Bacia de contribuição de acordo com as bocas de lobo existentes



Bacia de contribuição de acordo com o dimensionamento



Bacia de contribuição de acordo com o dimensionamento - Sentido de escoamento superficial



Planta da rede de drenagem de acordo com o dimensionamento realizado neste trabalho