



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA RURAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL

ROBERTO LUIZ FROTA DE MENEZES VASCONCELOS

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA
POSICIONAMENTO ENTRE BOCAS DE LOBO EM ÁREA DE
ESTACIONAMENTO**

**RECIFE-PE
2023**

ROBERTO LUIZ FROTA DE MENEZES VASCONCELOS

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA
POSICIONAMENTO ENTRE BOCAS DE LOBO EM ÁREA DE
ESTACIONAMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Gestão Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva.

Coorientador: Prof. Dr. José Ramon Barros Cantalice

**RECIFE-PE
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

V331a

Vasconcelos, Roberto

Aplicação de Metodologias para Posicionamento entre Bocas de Lobo em Área de Estacionamento / Roberto Vasconcelos. - 2023.
76 f. : il.

Orientador: Vicente de Paulo Silva.
Coorientador: Jose Ramon Barros Cantalice.
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2023.

1. Drenagem urbana. 2. microdrenagem. 3. escoamento superficial. 4. alagamentos. I. Silva, Vicente de Paulo, orient. II. Cantalice, Jose Ramon Barros, coorient. III. Título

CDD 620.8

ROBERTO LUIZ FROTA DE MENEZES VASCONCELOS

**APLICAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA
POSICIONAMENTO ENTRE BOCAS DE LOBO EM ÁREA DE
ESTACIONAMENTO**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, na Área de Concentração de Gestão Ambiental e Recursos Hídricos.

Aprovado em 28 de julho de 2023

Prof. Dr. Vicente de Paulo Silva
Presidente da Banca e Orientador
Universidade Federal Rural de Pernambuco

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Membro Interno (PPEAMB / UFRPE)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Manoel Vieira de França
Membro Externo (UFRPE)
Universidade Federal Rural de Pernambuco

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço ao meu orientador, Prof. Vicente de Paulo Silva por sua dedicação, paciência e constante incentivo. Seu profundo conhecimento e comprometimento com a excelência acadêmica foram fundamentais para o meu crescimento e desenvolvimento ao longo desta fase. Suas orientações sempre precisas e encorajadoras foram um guia constante, permitindo-me explorar novas perspectivas e aprimorar minhas habilidades de pesquisa.

Gostaria também de agradecer a todos os professores, colegas e amigos que estiveram ao meu lado durante todo o percurso. Suas palavras de encorajamento, discussões enriquecedoras e apoio mútuo foram essenciais para superar desafios e fortalecer minha motivação ao longo dessa caminhada acadêmica.

Por fim, agradeço a minha família e entes queridos pelo amor, paciência e apoio incondicionais. Seu suporte constante foi meu alicerce durante todas as etapas deste mestrado. Sou profundamente grato por ter pessoas tão especiais ao meu lado, compartilhando minhas alegrias e desafios.

Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que conseguisse realizar esta grande etapa.

RESUMO

A impermeabilização do solo e a drenagem inadequada são os principais fatores para eventos de alagamentos em áreas urbanas. O objetivo desta pesquisa foi avaliar a aplicação de métodos capazes de determinar o posicionamento de dispositivos de drenagem de águas pluviais (Bocas de Lobo), em um estacionamento em escala real, usando-se uma análise comparativa dos parâmetros de escoamento superficial e da capacidade de captação destes dispositivos, em vias públicas. A análise se baseia em diretrizes existentes, visando melhor compreensão e aplicabilidade prática. O estudo foi realizado no estacionamento do Edifício Prof. Vasconcelos Sobrinho - CEAGRI II, localizado no campus de Dois Irmãos da UFRPE em Recife-PE. Durante os períodos de chuva, metade da área do estacionamento fica inundada, causando dificuldades para os usuários. Um levantamento topográfico foi realizado para obter informações detalhadas sobre o relevo da área do estacionamento. Essas informações foram registradas e permitiram uma análise precisa do terreno. Neste estudo foram utilizadas três metodologias para determinar o posicionamento das Bocas de Lobo no estacionamento. A primeira metodologia foi baseada nas diretrizes da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) de São Paulo, considerando o espaçamento entre as Bocas de Lobo de acordo com a largura máxima de escoamento na sarjeta. A segunda metodologia foi baseada no Urban Drainage (UD), onde o espaçamento entre as bocas de lobo deve ser suficiente para garantir que a vazão na via pública seja menor que a largura permitida para pedestres e a terceira metodologia foi com base em estudos de padronização de dimensionamento de microdrenagem do município de Santo André - SP. O melhor método aplicado foi o SMDU devido ao maior número de bocas de lobo, permitindo uma maior eficiência de captação do escoamento superficial. A pesquisa contribui para o conhecimento na drenagem urbana e oferece diretrizes aplicáveis a outros projetos, promovendo uma gestão mais eficiente das águas pluviais e tornando as cidades resilientes e sustentáveis.

Palavras-chave: Drenagem urbana; microdrenagem; escoamento superficial; alagamentos.

ABSTRACT

The soil impermeability and inadequate drainage are the main factors for flood events in urban areas. The objective of this research was to evaluate the application of methods capable of determining the positioning of rainwater drainage devices (Bocas de Lobo), in a full-scale parking lot, using a comparative analysis of the surface runoff parameters and the collection capacity of these devices, on public roads. The analysis is based on existing guidelines, aiming for a better understanding and practical applicability. The study was conducted in the parking lot of the Prof. Vasconcelos Sobrinho Building - CEAGRI II, located on the Dois Irmãos campus of UFRPE in Recife-PE. During rainy periods, half of the parking lot area becomes flooded, causing difficulties for the users. A topographic survey was carried out to obtain detailed information about the terrain of the parking lot. This information was recorded and allowed a precise analysis of the terrain. In this study three methodologies were used to determine the positioning of stormwater inlets (Bocas de Lobo) in the parking lot. The first methodology was based on the guidelines of the Municipal Department of Urban Development (SMDU) of São Paulo, considering the spacing between stormwater inlets according to the maximum width of flow in the gutter. The second methodology was based on Urban Drainage (UD), where the spacing between stormwater inlets should be sufficient to ensure that the flow in the public road is less than the width allowed for pedestrians. The third methodology was based on standardization studies of microdrainage design in the municipality of Santo André - SP. The best applied method was the SMDU due to the higher number of storm drains, allowing for greater efficiency in capturing surface runoff. The research contributes to the knowledge of urban drainage and provides applicable guidelines for other projects, promoting more efficient management of stormwater and making cities more resilient and sustainable.

Keywords: Urban drainage; microdrainage; surface runoff; floods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico	19
Figura 2 - Alagamento em via pública	20
Figura 3 - Perfil Esquemático do Processo de Enchente e Inundação.....	21
Figura 4 - Exemplo de perfil de sarjeta	33
Figura 5 - Representação de fluxo de escoamento superficial	35
Figura 6 - Seção de escoamento de uma via pavimentada	36
Figura 7 - Seção de via pavimentada.....	39
Figura 8 - Tipos de Boca de Lobo	40
Figura 9 - Posicionamento de bocas de lobo	41
Figura 10 - Esquema do espaçamento entre as bocas de lobo em áreas urbanas	44
Figura 11 - Espaçamento inicial e intermediário das bocas de lobo.....	45
Figura 12 – Seções geométricos de galerias de águas pluviais	49
Figura 13 - Vista aérea da área do estacionamento do CEAGRI II.....	51
Figura 14A e Figura 14B - Tubulação instalada sob o passeio no estacionamento do CAEGRI II.....	52
Figura 15 - Estacionamento alagado após um evento de chuva	52
Figura 16 - Comportamento das precipitações no período de 1961 a 2019.	53
Figura 17 - Receptor de sinal GNSS – TechGeo, linha Zênite 2.....	54
Figura 18 - Levantamento topográfico da área do estacionamento do CEAGRI II	55
Figura 19 - Delimitação da Micro área de Drenagem	56
Figura 20 - Subáreas de drenagem do estacionamento.....	58
Figura 21 - Distâncias médias entre bocas de lobo conforme o método SMDU.....	62
Figura 22 - Número de dispositivos de acordo com o método SEMASA.....	64
Figura 23 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (Tr) de 2 anos	67
Figura 24 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (Tr) de 5 anos	68
Figura 25 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (Tr) de 10 anos	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento superficial (C)	28
Tabela 2 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área	31
Tabela 3 - Fatores de Redução de Escoamento das Sarjetas	38
Tabela 4 - Fator de eficiência na redução do escoamento para bocas de lobo	43
Tabela 5 - Eficiências de boca de lobo com declividade transversal padrão de 1:20.....	46
Tabela 6 - Cálculo das vazões contribuintes das subáreas de drenagem.....	61
Tabela 7 - Cálculo das distâncias entre bocas de lobo.....	61
Tabela 8 - Cálculo do número de dispositivos de acordo com o método SEMASA.....	64
Tabela 9 - Tempo de concentração, Intensidade de precipitação e vazão máxima	66
Tabela 10 - Distância entre bocas de lobo de acordo com o método Butler & Davies (2004).	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Efeitos da urbanização sobre as inundações	21
Quadro 2 - Valor recomendados para Coeficiente Superficial em superfícies	28
Quadro 3 - Coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno de 10 anos.....	29
Quadro 4 - Sugestão para Período de Retorno.....	30
Quadro 5 - Classificação das vias quanto a máxima de inundação	36
Quadro 6 - Coeficiente de Manning conforme a rugosidade do material.....	37
Quadro 7 - Capacidade de condução Manning x Izzard.....	38
Quadro 8 - Valores de K em função da largura da via	47
Quadro 9 - Valores de C em função das características da bacia	48

LISTA DE ABREVIACES E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de guas e Clima
CEAGRI	Centro de Ensino de Ciências Agrárias
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
DAEE	Departamento de guas e Energia Elétrica
DEP	Departamento de Esgotos Eluviais
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte.
EMLURB	Prefeitura da Cidade do Recife
GAP	Galeria de guas Pluviais
GNSS	Global Navigation Satellite System
Ha	Hectare
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
PVC	Policloreto de Vinil
RMR	Região Metropolitana de Recife
SEMASA	Serviço Municipal de Saneamento Ambiental de Santo André
SMDU	Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano
SUDERHSA	Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental
TR	Tempo de Retorno
UD	Drenagem Urbana
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS	15
2.1.	Objetivo Geral	15
2.2.	Objetivos Específicos	15
3.	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1.	Processos de Urbanização.....	16
3.2.	Ciclo Hidrológico	18
3.3.	Alagamentos, Inundações e Enchentes.....	19
3.4.	Drenagem Urbana	22
3.4.1.	Medidas Estruturais e Não Estruturais.....	23
3.4.2.	Microdrenagem	24
3.4.3.	Macro drenagem	25
3.5.	Dimensionamento do escoamento Superficial.....	26
3.5.1.	Vazão de escoamento.....	26
3.5.2.	Coeficiente de escoamento C.....	27
3.5.3.	Precipitação Máxima de Projeto	29
3.5.4.	Escoamento Superficial.....	31
3.5.5.	Período de retorno (T_r).....	31
3.5.6.	Tempo de Concentração (t).....	31
3.6.	Sarjetas.....	33
3.6.1.	Escoamento sobre a Sarjeta.....	34
3.7.	Dimensionamento de Bocas de Lobo	39
3.7.1.	Crítérios de espaçamento entre bocas de lobo	41
4.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
4.1.	Área de Estudo.....	51
4.2.	Clima.....	53
4.3.	Levantamento Topográfico.....	53
4.4.	Delimitação da bacia de drenagem	54
4.5.	Intensidades de precipitação	57

5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	60
5.1	Método SMDU	60
5.2	Método SEMASA.....	63
5.3	Método de Butler & Davies	65
6.	CONCLUSÕES.....	69
	REFERÊNCIAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A urbanização descontrolada das cidades brasileiras tem provocado, dentre outros impactos, o agravamento das enchentes naturais e a ampliação de sua frequência, além de criar novos pontos de alagamento. Estes impactos provêm da crescente impermeabilização do solo com aumento do volume pluvial escoado e redução de amortecimento.

A alteração das superfícies naturais visando a implantação de vias públicas, estradas, estacionamento entre outros com coberturas impermeáveis, como: asfalto, cimento e concreto, está diretamente relacionada com a urbanização das cidades e, conseqüentemente, com o aumento do escoamento superficial das águas pluviais. De maneira a evitar o acúmulo das águas pluviais nas áreas impermeabilizadas, são utilizados, dentre outras medidas estruturais, os sistemas de drenagem urbana, os quais funcionam como sistema preventivo de inundações.

De acordo com Tucci (2012) a drenagem urbana pode ser definida como o conjunto de ações que objetiva neutralizar ou mitigar os prejuízos ou riscos devidos a inundações e alagamentos junto à população, além da conservação dos recursos urbanos, articulando então o desenvolvimento urbano com o meio ambiente.

Desse modo, um sistema adequado de drenagem urbana proporciona diversos benefícios tanto à população quanto ao meio ambiente, evitando danos ocasionados por alagamentos, enchentes, enxurradas, deslizamentos e erosões, bem como a manutenção da qualidade dos recursos hídricos ao evitar lançamentos de esgotos sanitários, resíduos sólidos e poluição difusa (lavagem superficial das áreas impermeabilizadas das cidades) nos mananciais (LINARD, 2017).

Os sistemas de drenagem urbana têm o objetivo de captar as águas pluviais e lançar em corpos hídricos, fazendo com que reduza, significativamente o risco de inundação, evitando prejuízos e interferências no tráfego de pedestres e de veículos. A eficiência de um sistema de drenagem urbana dependerá do conhecimento dos componentes ambientais e físicos das áreas de drenagem para entendimento do percurso das águas pluviais até o ponto de lançamento.

Tais sistemas têm início a partir dos dispositivos de captação de águas pluviais tais como bocas-de-lobo e/ou ralos e das câmaras de visita, que captam os excessos de águas pluviais geradas nas vias públicas e conduzem para redes de coletores. A rede de coletores é o conjunto de canalizações que visa assegurar a condução das águas pluviais desde os dispositivos de entrada até um ponto de lançamento.

Nos casos em que se visa à definição do posicionamento e do espaçamento entre os dispositivos de captação de águas pluviais em estacionamentos, percebe-se simplificações, optando-se pela adoção de espaçamentos predefinidos em diretrizes de projeto, específicas de espaços públicos, destinados ao fluxo de pessoas e de veículos.

O presente trabalho busca avaliar metodologias de determinação para o posicionamento dos dispositivos de captação de águas pluviais que possam ser empregadas em áreas de estacionamento. Desse modo, fez-se uma comparação entre métodos propostos nas principais literaturas a respeito do tema de modo a permitir uma melhor quantificação das vazões escoadas e alturas d'água junto à guia, facilitando a determinação precisa dos pontos onde as bocas de lobo devem ser instaladas nos espaços públicos de estacionamentos. Portanto, para uma melhor compreensão da questão, parte-se da análise de aplicação de metodologias para o dimensionamento de bocas de lobo em um estacionamento construído em escala real no *campus* sede da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) na cidade do Recife, com o intuito de se verificar, teoricamente, sua funcionalidade e aplicabilidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a aplicação de metodologias capazes de determinar o posicionamento de bocas de lobo em um estacionamento, construído em escala real, através da análise comparativa dos parâmetros de escoamento superficial, com a capacidade de captação/drenagem dos dispositivos de captação das águas pluviais nas vias públicas.

2.2. Objetivos Específicos

- Apresentar as metodologias de posicionamento dos dispositivos de captação das águas pluviais nas vias públicas;
- Aplicar as metodologias de posicionamento dos dispositivos de captação das águas pluviais em estacionamento em escala real;
- Avaliar os resultados dos posicionamentos das bocas de lobo, obtidos com as metodologias resultantes da aplicação de teorias convencionais.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nos últimos anos vivencia-se uma realidade em que a quantidade e a qualidade dos recursos naturais estão a cada dia mais ameaçados. Um dos maiores desafios a ser enfrentado pela geração atual e pelas futuras gerações está na disponibilidade de água para consumo humano. O problema de abastecimento público de água advém não só da quantidade de água, mas principalmente da qualidade de água disponível, sendo muitas vezes um fator determinante no quadro de escassez, sobretudo nas grandes cidades, onde a poluição compromete os mananciais e conseqüentemente seu abastecimento.

3.1. Processos de Urbanização

Os avanços na tecnologia e na ciência permitem que as informações ganhem um poder e velocidade sem precedentes para alcançar espaços de difícil acesso. O próprio fenômeno da urbanização e o processo de expansão urbana por ela ocasionados são forças motrizes e objeto desse acelerado desenvolvimento da tecnologia, principalmente fruto da revolução industrial (CABRAL; CÂNDIDO, 2019).

A urbanização em si já é um evento natural que, após o advento da revolução industrial, ocorrida na Inglaterra ao final do século XVIII, associado ao aumento do número de fábricas nos centros urbanos, exigiu a busca por mais mão de obra para atuação junto aos processos fabris, conseqüentemente, a busca por oportunidades permitiu que o homem migrasse do campo para os centros urbanos próximos às indústrias, originando o processo conhecido como êxodo rural (SILVA, 2019).

A necessidade da migração do campo para as áreas mais próximas às fábricas e acumulação de riquezas nestes locais, permitiu o surgimento de grandes centros urbanos. Com estes centros também surgiram os problemas devidos à falta da ocupação planejada, visto que, apesar da aplicabilidade de leis e políticas públicas voltadas para o planejamento urbano e acesso à moradia, o Estado não consegue suprir as necessidades da população, quando comparados os recursos financeiros disponíveis versus a necessidade de intervenção urbana, implicando no crescimento desordenado das cidades. Essa situação fomentava ainda mais a necessidade de um planejamento urbano, pensado de modo sustentável, com o objetivo de garantir o mínimo de qualidade de vida para as gerações presentes e futuras (GOMES; PINTO, 2020).

Para Gomes (2020), a escassez do planejamento urbano associado à migração da população para preenchimento dos postos de trabalhos em centros urbanos, implicou em grandes aglomerados de pessoas com interesses em comum. Um problema originado de tal falta de planejamento foi a moradia visando as oportunidades locais, porém, em piores condições para quem vivia à margem da sociedade, implicando em sérios problemas sociais e ambientais.

O planejamento urbano logo se tornou imprescindível para a estruturação adequada das cidades. Estudos recentes apontam para o fato de que os continentes mais urbanizados são os mais modernos, pois na realidade a cultura de hoje é primordialmente urbana. (Publicação da Geographical Review aponta que 44% da população vive na zona urbana na Austrália, 24% nos EUA, 19% na Europa, 11% na América do Sul, 5% na Ásia e 2,5% na África) (MALUF, 2010, p. 96).

Historicamente, as grandes capitais também passaram pelo processo de urbanização, intensificado por volta das décadas de 40 a 70, pois a urbanização brasileira é caracterizada, essencialmente, por dois fatores: a periferação e a metropolização, seguidos de algumas características que contribuem ainda mais com o processo de ocupação irregular, que são a alta taxa de informalidade, desigualdades espaciais e segregação especial (GOMES, 2020).

Na Cidade do Recife, o processo de urbanização não foi diferente, uma vez que seu crescimento populacional se comportou de maneira exponencial sem um planejamento urbano eficiente, resultando em regiões de grande vulnerabilidade espacial, causando grandes impactos de efeito negativos (SILVA, 2019).

Um dos grandes obstáculos vividos pelos centros urbanos é garantir uma drenagem urbana eficiente levando em consideração os efeitos negativos da urbanização. Todavia, para dimensionar corretamente o conjunto de infraestruturas adequadas, faz-se necessário compreender as variáveis que resultam nas consequências do escoamento superficial, como o ciclo hidrológico. Este por sua vez está diretamente relacionado com as práticas de urbanização e se compreender o mesmo, pode minimizar os impactos da impermeabilização intensa (PIMENTEL, 2021).

Para Oliveira et al. (2019) os impactos que são gerados pela ausência de um plano de gestão hídrica eficiente em centros urbanos é uma das causas das oscilações no comportamento do ciclo hidrológico, trazendo como efeito adverso picos climáticos. Os eventos de alagamentos nas cidades bem urbanizadas são resultantes das altas taxas de impermeabilização, onde se utiliza a técnica da terraplenagem, alterando assim as

características físicas do solo, favorecendo o escoamento superficial e a utilização de dispositivos da drenagem urbana.

Para Tecedor et al. (2021), a falta de projetos que desenvolvam as cidades em pontos de várzea também implica no aumento dos eventos de vazão de rios, elevação do tempo de concentração da bacia, aumento da velocidade do escoamento superficial, também devido ao desmatamento e impermeabilização do solo.

3.2. Ciclo Hidrológico

Devido às diversas atividades humanas, a disponibilidade hídrica vem sendo prejudicada devido aos fatores meteorológicos serem afetados, contribuindo para uma maior irregularidade na distribuição espaço-temporal deste recurso (LOPES et al., 2017).

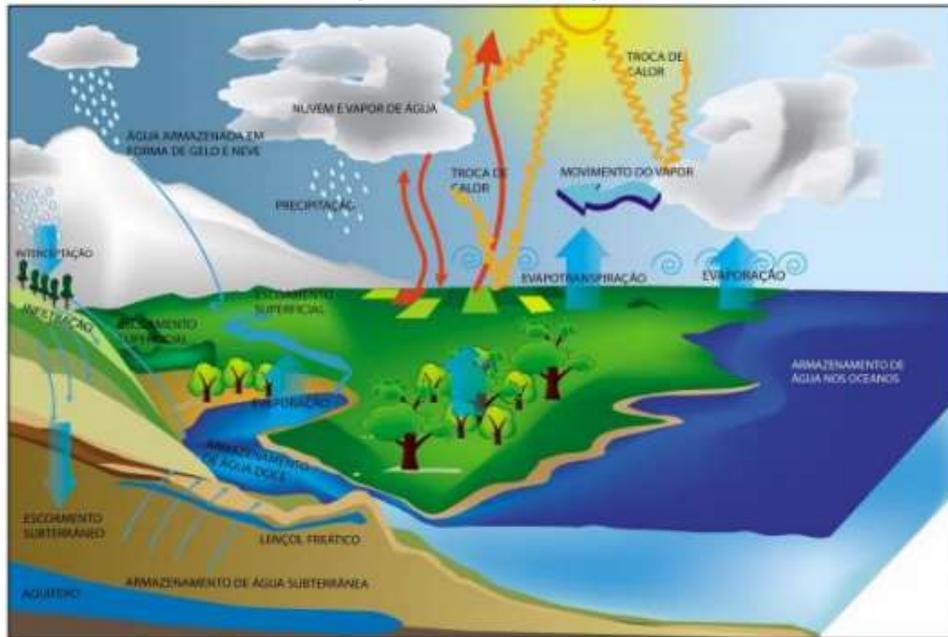
O ciclo hidrológico pode ser definido como o fenômeno de circulação fechada de entrada e saída de água em uma bacia hidrográfica, em seus diferentes estados da matéria. O sistema começa pela entrada de água no sistema, pelos eventos de precipitação.

Segundo Rocha e Santos (2018), a precipitação, de forma resumida, pode ser compreendida como a aglomeração de partículas de água na forma gasosa que, através do movimento das massas de ar na atmosfera, condensam e precipitam na forma de chuva, neve ou granizo. Neste trajeto, antes da água chegar ao solo, podem ser interceptadas pelas árvores, telhados ou solos impermeáveis. Quando a água atinge o solo natural, inicia-se o processo de infiltração, com base nas características de condutividade hidráulica do solo e nível do lençol freático.

Após o solo atingir seu grau de saturação máximo, a infiltração decresce até a taxa residual, gerando o excesso da precipitação sobre a superfície, ocorrendo o escoamento superficial, no qual ganha energia cinética advindo da força da gravidade, para as cotas mais baixas (TUCCI, 2012).

Ainda conforme Tucci (2012), também durante o processo de interceptação ou escoamento superficial, parte dessa água evapora para a atmosfera e, associado a isso, quando os seres vivos (plantas, animais etc.) perdem água para atmosfera, o fenômeno é conhecido como transpiração. A combinação desses dois efeitos é chamada de evapotranspiração, grande responsável pela formação de nuvens (Figura 1).

Figura 1 - Ciclo hidrológico



Fonte: Serrão (2018)

Tucci (2012) enfatiza que o regime hidrológico apresenta diversos comportamentos e que essa variabilidade é controlada com base nas características fisiográficas da bacia hidrográfica, como vegetação, tipologia do solo, relevo e litologia, além dos fatores climáticos como precipitação média, evaporação e incidência solar.

Devido a população necessitar desse recurso para sobrevivências, as águas sempre estarão correlacionadas com o homem, uma vez que desde o início das primeiras civilizações, o homem sempre se estabelece em locais próximos a corpos hídricos (RODRIGUES et al., 2022).

3.3. Alagamentos, Inundações e Enchentes

Para Vestena, Almeida e Gefferet (2020), mesmo que haja uma distinção entre os eventos de inundações, enchentes e alagamentos, todos “possuem origem hidrológica ou hidrometeorológica, ou seja, estão associados a eventos de chuvas intensas ou de longa duração”.

Os fenômenos das inundações e alagamentos consistem em eventos de ocorrência natural, ainda que intensificado pela ação antrópica promovida pelas alterações topográficas, de drenagem urbana e fluvial, além das modificações nas propriedades físicas dos solos. São

fenômenos condicionados às características locais, como o uso e ocupação de áreas de planície e margens de cursos d'água (TUCCI, 2012).

Conforme Tucci (2012), por meio da impermeabilização do solo e do processo de canalização dos cursos d'água, o escoamento superficial é favorecido, portanto, sobrecarregando o sistema de drenagem urbana, ocasionando eventos de inundações e alagamentos.

Os pontos de alagamentos ocorrem devido ao escoamento superficial, ocasionado pela não utilização de dispositivos ou técnicas que favoreçam a infiltração, implicando no acúmulo de água nas vias públicas. Sendo assim, o alagamento pode ser definido como o acúmulo de água momentâneo, em um trecho no qual o sistema de drenagem convencional local não é adequado ou necessita de manutenção (Figura 2).

Figura 2 - Alagamento em via pública



Fonte: G1 (2023)

Segundo Nylander et al. (2021), os alagamentos são ocasionados diretamente por problemas no sistema de drenagem existente, como subdimensionamento no sistema e escassez da manutenção periódica, impossibilitando o sistema operar com normalidade, trazendo acúmulo de água em pontos específicos da cidade. Outro ponto seria a falta de educação ambiental por parte da população, uma vez que é comum o descarte indevido de resíduos sólidos, obstruindo os dispositivos da rede de drenagem.

Já para Carvalho et al. (2007), as enchentes ou cheias representam o aumento do leito dos rios, permitindo que a capacidade máxima do leito seja completamente preenchida devido ao aumento de sua vazão. Já as inundações são o extravasamento do rio com base no transbordamento do seu leito maior. Portanto, neste evento a água invade a planície de inundação permitindo que casas, árvores e ruas fiquem submersas (Figura 3).

Figura 3 - Perfil Esquemático do Processo de Enchente e Inundação



Fonte: IPT (2007)

O processo de urbanização não planejada é a principal consequência dos eventos de inundações, causando danos à drenagem urbana e à toda população (GARCIA, 2018). O Quadro 1 apresenta um resumo das causas e efeitos das inundações relacionados à urbanização e ao escoamento superficial.

Quadro 1 – Efeitos da urbanização sobre as inundações

CAUSAS	EFEITOS
Impermeabilizações	Maiores picos de vazão das chuvas
Redes de drenagem	Maiores picos a jusante dos cursos d'água
Resíduos sólidos	Degradação da qualidade de água Entupimento de bueiros e galerias
Redes de esgotos deficientes	Degradação da qualidade de água Moléstias de veiculação hídrica Inundações
Desmatamento e desenvolvimento indisciplinado	Maiores picos e volume das chuvas Mais erosão
Ocupação de encostas	Danos referentes ao deslizamento de terras Danos e custos de utilidade pública

Fonte: Tucci (2012)

A dinâmica da transformação dos eventos de precipitação até o escoamento superficial é complexa, não linear e dinâmica, principalmente devido à variabilidade espaço-temporal. Isto torna o cenário ainda mais delicado, principalmente, quando associado a fatores de intervenção antrópica na bacia hidrográfica, como é o caso da substituição da cobertura vegetal pelo solo impermeabilizado. Com o aumento da frequência de eventos pluviométricos de alta intensidade, torna as cidades altamente vulneráveis à ocorrência de eventos desta natureza (DEVI, SRIDHARAN & KUIRY, 2019).

As inundações e enchentes são fenômenos hidrogeomorfológicos que possuem sazonalidade, caracterizados pelo excesso hídrico. O alagamento é um fenômeno sem

sazonalidade, decorrente de eventos extremos de precipitação pluvial, persistindo por poucas horas ou dias e com pequena expansão em área povoados, geralmente agravados pela ineficiência ou inexistência do sistema de drenagem (SANTOS, 2021).

Santos (2021) ainda explica que, mesmo possuindo um sistema de drenagem local, a rede pode apresentar ineficiência ainda que fora do período mais chuvoso, uma vez que as chuvas convectivas, ou chuvas de verão, possuem curta duração, mas intensidade elevada, portanto, os alagamentos acompanham a sazonalidade no período chuvoso ou na estação seca.

Para Silva et al. (2020), os problemas ocasionados pelo crescimento urbano de forma não planejada, a curto e longo prazo, tendem a necessitar de soluções cada vez mais emergências devido ao crescimento estrutural urbano não ser proporcional ao crescimento da população. Silva (2020) esclarece alguns dos problemas advindos do crescimento populacional e a expansão da urbanização acentuada. Para o autor, os efeitos negativos destes processos podem ser os mais variados, porém, os comuns são: aumento da impermeabilização do solo, ilhas de calor e o aumento da temperatura local e, principalmente, a sobrecarga do sistema de drenagem urbana, devido ao favorecimento do escoamento superficial, causando maiores ocorrências de elevação de rios e córregos e enchentes.

3.4. Drenagem Urbana

Os problemas relacionados às águas pluviais são consequências de todo o processo de urbanização causado pelo planejamento inadequado. Quanto aos diversos problemas ocasionados nas cidades, podemos citar como de maiores impactos, os alagamentos e as inundações (GEORGESON et al., 2016).

A Lei Federal nº 11.445/2007 estabelece as diretrizes para o saneamento básico e, como pilar do saneamento, abrange também o manejo das águas pluviais, infraestrutura e instalações da drenagem urbana, transporte, detenção/retenção para o amortecimento de vazões cheias, tratamento e disposição final das águas pluviais drenadas (BRASIL, 2007).

O manejo das águas precisa existir em toda a área urbana, pois é necessário para todos, para a saúde pública e segurança, assim como todos os serviços do saneamento básico. Porém, diferente dos métodos convencionais utilizados para as águas urbanas, a metodologia utilizada no manejo das águas age sobre as origens dos problemas, e assim busca o equilíbrio entre o ser humano e o meio ambiente (GEORGESON et al., 2016).

Conforme Marengo et al. (2017), o aceleração dos mecanismos de resiliência das cidades é necessário, através das políticas públicas com a adaptação atual, preparando de forma abrangente e empregando os recursos de forma eficaz. No Brasil essas adaptações são através de construção de diques, barragens de contenção, entre outros.

Porto et al. (1993) conceitua a drenagem urbana como o conjunto de medidas que tem como objetivo mitigar os riscos e atenuar os danos originados pelas inundações, propiciando o bem-estar social e sustentável.

O escoamento superficial exige que o sistema de drenagem exista de modo a escoar o volume de água previsto na vazão de projeto. A inexistência ou um sistema de drenagem ineficiente, permitirá que a água da chuva acumule ou escoe, implicando nos alagamentos e inundações (TOMINAGA, 2013).

Para Fátima (2013), um sistema de drenagem urbana adequado não implicará dizer que seu desempenho será eficaz em todos os eventos pluviométricos, isso porque haverá eventos extremos, aqueles fora da normalidade. Entretanto, se o projeto e técnicas aplicadas estiverem de acordo, levando em consideração as características da localidade e tempo de retorno adequado, além do dimensionamento dos elementos do sistema, as consequências desses eventos poderão ser de menor proporção.

Christofidis (2010) afirma que sistemas de drenagem urbana implantados atualmente, em sua grande maioria, consistem na captação de águas pluviais e no seu afastamento para corpos hídricos já existentes em cidades já urbanizadas. Esse sistema clássico utilizado pode ser dividido em dois grandes grupos: Microdrenagem e Macrodrenagem.

3.4.1. Medidas Estruturais e Não Estruturais

De acordo com Linard (2017), as medidas do tipo estruturais, são obras físicas de engenharia que são construídas com objetivo de prevenir eventos danosos originados pelas enchentes e inundações. As medidas dessa natureza ainda podem ser fracionadas entre extensivas e intensivas.

Para Linard (2017), medidas extensivas implicam em pequenas ações que ampliam as condições originais da bacia, portanto, a ampliação da cobertura vegetal, além do controle de da erosão do solo na bacia hidrográfica. Já as medidas intensivas correspondem as

intervenções junto à aceleração do escoamento, redução no fluxo de escoamento e implantação de dispositivos que auxiliem nos eventos de enchentes.

Já as ações não estruturais objetivam conscientizar a população existente na bacia, como educação ambiental, sistemas de previsão de inundações e comunicação junto à população, políticas públicas voltadas para benefícios aos habitantes em estado de vulnerabilidade social (LINARD, 2017).

3.4.2. Microdrenagem

Os subsistema de microdrenagem pode ser compreendido pelo conjunto da infraestrutura no qual realiza a coleta e o afastamento das águas pluviais até o subsistema de macrodrenagem. Conforme Bidone e Tucci (2015), os mecanismos utilizados na captação de água de chuvas em lotes são:

- **Meio-fio:** Estrutura construída entre o passeio (calçada) e a pavimentação de forma a seguir ao longo da via;
- **Sarjetas:** Seguimento paralelo ao meio fio e à faixa de rolamento do pavimento, visando a captação de água para direcionamento do fluxo;
- **Sarjetões:** Elemento construído na forma de calha em cruzamentos de vias, cujo objetivo é receber o escoamento das sarjetas e orientar seu fluxo;
- **Tubo de ligação:** Canalizações que entregam o volume de água captado para galerias ou poços de visitas;
- **Boca de lobo:** Sistema de captação de águas pluviais recebidas pelas sarjetas e sarjetões;
- **Galerias pluviais:** Conduitos de maiores dimensões cuja função é conduzir as águas pluviais advindas das bocas-de-lobo;
- **Poço de visita:** Dispositivos instalados em pontos específicos visando o bom funcionamento do sistema. Geralmente aplicados em pontos estratégicos onde há a mudança de sentido do fluxo, mudança de declividade ou diâmetro. Tem como função também a inspeção para limpeza dos tubos de ligação.

Conforme a análise realizada por Chrisofidis (2010), os métodos de cálculo e dimensionamentos de redes urbanas de drenagem tradicional são limitados, porém continuam

a ser adotados em diversos locais do país. As premissas utilizadas passam a acarretar impactos de elevada intensidade no meio ambiente e nos ecossistemas.

3.4.3. Macrodrenagem

Segundo Martins (2015), a macrodrenagem pode ser compreendida como o conjunto de elementos que direcionam o volume de águas recebidos pelo sistema de microdrenagem. Sua função é concluir o direcionamento desse volume de água para a disposição final, ou seja, um corpo hídrico receptor.

Os elementos que fazem parte do sistema de macrodrenagem podem ser os canais naturais e artificiais de maiores dimensões. Isso implica fazer nas obras, ampliação e retificação, bem como medidas de dissipação e controle de energia, visando o desgaste no leito dos canais, como o assoreamento, erosão, medidas de amortecimento de pico e estações de bombeamento utilizadas em períodos de maré alta (MARTINS, 2015).

Para Tomaz (2019), os canais abertos devem ser sempre a primeira opção quando se pensa em realizar projetos de macrodrenagem, uma vez que os canais apresentam excelentes vantagens como a versatilidade de suas seções, economia em custos de implantação, limpeza e manutenção, maior facilidade de expansão.

A manutenção desse sistema é crucial para que a operação da rede funcione com efetividade, evitando então riscos com eventos de inunicações e poluição hídrica. Os sistemas de macrodrenagem são compostos por canais livres, galerias ou canais de condutos enterrados e em alguns casos, sistemas de controle de inundações como bacias de detenção (BAPTISTA et al., 2005).

A partir desse contexto, Tucci (2016) sugere uma melhor gestão de águas pluviais para controle do escoamento, uma vez que os sistemas de micro e macrodrenagem precisam ser integrados a fim de conduzir o fluxo do escoamento superficial, afastando-o da população, evitando grandes transtornos.

3.5. Dimensionamento do Escoamento Superficial

Dimensionar o sistema de microdrenagem pode ser elaborado em duas etapas, onde a primeira fase será a estimativa de vazão conforme o cálculo base de precipitação através do Método Racional, e posteriormente, a análise hidráulica dos outros componentes por meio da equação de Manning.

3.5.1. Vazão de escoamento

A partir dos dados de precipitação extraídos por meio de equações, podemos determinar a vazão máxima que um determinado local poderá receber, portanto, se uma bacia não apresentar alta complexidade e com uma área mais restrita, a vazão poderá ser determinada com base no Método Racional (VIEIRA, 2015).

Para Tucci (2012) e Guimarães (2009) o método racional pode oferecer resultados satisfatórios, uma vez que as características da bacia estejam adequadas ao método, ou seja, essencialmente, a aplicabilidade do método racional está condicionada a bacias de até 2 km².

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

b) Adota-se um coeficiente único de perdas, denominado C, estimado com base nas características da bacia.

c) Não avalia o volume da cheia e a distribuição temporal das vazões.

O método racional pode ser encontrado conforme a Equação 1.

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360} \quad (1)$$

Onde:

Q = Vazão (m³/s)

C = Coeficiente de Runoff

I = Intensidade de precipitação (mm/h)

A = Área da bacia (ha)

O método racional deve ser aplicado somente em pequenas bacias, ou seja, com área de drenagem inferior a 3km² (300 ha), conforme Porto (1993), ou quando o tempo de concentração seja inferior a uma hora.

O método racional se baseia nas seguintes hipóteses:

- a) toda a bacia contribui com o escoamento superficial e é por isso que o tempo de duração da chuva deve ser igual ou exceder ao tempo de concentração da bacia;
- b) a chuva é distribuída uniformemente sobre toda a área da bacia;
- c) todas as perdas estão incorporadas ao coeficiente de escoamento superficial.

3.5.2. Coeficiente de escoamento C

O coeficiente “C” de escoamento superficial é também conhecido como coeficiente de *runoff* ou coeficiente de deflúvio, que por definição é a razão entre o volume total de escoamento superficial no evento e o volume total precipitado (TUCCI, 2000).

Para Christofidis (2010), o *runoff* ou coeficiente de escoamento, pode ser definido como a relação entre o volume de água escoado e o volume precipitado de uma determinada área, com o potencial de impermeabilização. O valor do coeficiente de escoamento é diretamente proporcional à impermeabilização do solo, portanto, quanto maior for a impermeabilização de uma dada área, maior será o *runoff* dessa região.

Para entendimento da representação do seu valor, Porto (1995) explica que o coeficiente de escoamento superficial leva em consideração vários parâmetros, entre eles o quanto é impermeabilizada a área bacia hidrográfica, a tipologia do solo, a precipitação média da bacia e as características fisiográficas da bacia.

A escolha do coeficiente de escoamento superficial (C) depende também do solo, pois a infiltração decresce enquanto a chuva contínua, dependendo das condições do solo. Influencia também o grau de compactação do solo, porosidade do subsolo, vegetação, declividade e depressões onde a água pode armazenar. A Tabela 1 mostra valores do coeficiente de escoamento superficial C em função da superfície e do tempo de entrada para início do escoamento.

Segundo Wilken (1978), o tempo de concentração é a soma do tempo de entrada (t_a) e o tempo de percurso (t_p). O tempo de entrada é o tempo decorrido a partir do início da

chuva até a formação do escoamento superficial e a entrada no conduto. Este tempo varia de acordo com a declividade e características superficiais da área.

Tabela 1 - Coeficiente de escoamento superficial (C)

Superfície	Coeficiente C	Tempo de entrada (min)
Telhado	0,70 a 0,95	5
Pavimento	0,40 a 0,90	5
Vias macadamizadas	0,25 a 0,60	5
Vias e passeios apedregulhados	0,15 a 0,30	5
Quintais e lotes vazios	0,10 a 0,30	5 a 10
Parques, jardins, gramados	0,0 a 0,25	5 a 10

Fonte: Wilken (1978)

Sudersha (2002) explica que há uma pluralidade no conceito de escolha do coeficiente de escoamento superficial mais adequado a ser aplicado em projetos de drenagem urbana pluvial, pois os valores podem variar conforme a tipologia do material base da impermeabilização (Quadro 2).

Quadro 2 - Valor recomendados para Coeficiente Superficial em superfícies

Tipo de Superfície	Valor Recomendado	Faixa de Variação
Concreto, asfalto e telhado	0,95	0,90 - 0,95
Paralelepípedo	0,70	0,58 - 0,81
Bloquetes	0,78	0,70 - 0,89
Concreto e asfalto poroso	0,03	0,02 - 0,05
Solo compactado	0,66	0,59 - 0,79
Matos, parques e campos de esporte	0,10	0,05 - 0,20
Grama solo arenoso	0,10	0,08 - 0,18
Grama solo argiloso	0,20	0,15 - 0,30

Fonte: SUDERHSA (2002)

Com base na diversidade de materiais presentes em obras de drenagem urbana, Porto (1995) sugere que os valores do coeficiente de escoamento superficial tenham como critério a ocupação do solo (Quadro 3).

Quadro 3 - Coeficiente de escoamento superficial para tempo de retorno de 10 anos

Ocupação do Solo	C
EDIFICAÇÃO MUITO DENSE: Partes centrais, densamente construídas de uma cidade com rua e calçadas pavimentadas.	0,70 a 0,95
EDIFICAÇÃO NÃO MUITO DENSE: Partes adjacentes ao centro, de menor densidade de habitações, mas com ruas e calçadas pavimentadas.	0,60 a 0,70
EDIFICAÇÃO COM POUCAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com construções cerradas, ruas pavimentadas.	0,50 a 0,60
EDIFICAÇÃO COM MUITAS SUPERFÍCIES LIVRES: Partes residenciais com ruas macadamizadas ou pavimentadas, mas com muitas áreas verdes.	0,25 a 0,50
SUBÚRBIOS COM ALGUMA EDIFICAÇÃO: Partes de arrabaldes e subúrbios com pequena densidade de construções.	0,10 a 0,25
MATAS, PARQUES E CAMPOS DE ESPORTES: Partes rurais, áreas verdes, superfícies arborizadas, parques ajardinados e campos de esporte sem a pavimentação.	0,05 a 0,20

Fonte: Porto (1995)

3.5.3. Precipitação Máxima de Projeto

É possível definir a precipitação de projeto por meio da interação entre intensidade-duração-frequência (IDF) das chuvas que precipitam sobre a bacia contribuinte. Esses dados são representados por meio de tabelas ou equações concedendo a possibilidade de dispor dos valores de precipitação para qualquer duração e tempo de retorno (LUCAS, 2019).

Segundo Abreu (2018), chuvas intensas são caracterizadas por meio de três variáveis: intensidade, duração e frequência, sendo a intensidade média da precipitação inversamente proporcional a sua duração, portanto, quanto maior for a intensidade dessa chuva, menor será a sua duração. Ainda que um evento tenha alta intensidade, seu período de recorrência ou tempo de retorno (TR) será maior, ou seja, quanto mais intenso for o evento, mais tempo demorará para que esse ou evento de intensidade maior ocorra novamente.

As equações de chuvas intensas têm como base informações de chuvas de diferentes intensidades de diferentes durações e, essas precipitações compõem as séries históricas de dados (ABREU, 2018).

Ainda referência sobre a temática, Pfafstetter (1957) encontrou curvas de intensidade, duração e frequência para diferentes regiões. Com o ganho do avanço da tecnologia, dispositivos de medição pluviométrica foram melhorados, beneficiando a coleta de dados de precipitação, onde vários estudos foram realizados a fim de se caracterizar os índices

pluviométricos de regiões distintas, onde de forma generalista, busca-se encontrar parâmetros locais de modo a obter dados fiéis àquela localidade. A equação geral que representa a intensidade máxima de precipitação pode ser escrita conforme Equação 2:

$$i = \frac{k \cdot T^a}{(t + b)^c} \quad (2)$$

Onde:

i – intensidade máxima pluviométrica (em mm/h)

t – Tempo de duração (em min)

T – Período de Retorno (em anos)

k, a, b, c – Parâmetros relativos ao local

A adoção do tempo de retorno para projetos de drenagem urbana implica na escolha de um risco aceitável desejada para esse sistema. Essa escolha também está associada diretamente a elevação dos custos da obra, uma vez que, quanto maior o nível de segurança desse sistema, maior seria o custo desta obra. SUDERHSA (2012) sugere que o tempo de retorno para drenagem urbana seja adotado conforme o Quadro 4.

Quadro 4 - Sugestão para Período de Retorno

Característica do Sistema	Tr (anos)
Microdrenagem.	2 a 10
Macrodrenagem.	25 a 50
Grandes corredores de tráfegos e áreas vitais para a cidade.	100
Áreas onde se localizam instalações e edificações como hospitais, bombeiros, polícias, centro de emergência etc.	500
Quando há risco de perdas de vidas humanas	100 (mínimo)

Fonte: SUDERHSA (2002)

Para Lucas (2019, pág. 23), “o risco adotado para um projeto define a dimensão dos investimentos envolvidos e a segurança quanto a enchentes. A análise adequada envolve um estudo de avaliação econômica e social dos impactos das enchentes para a definição dos riscos”.

3.5.4. Escoamento Superficial

Csobi (2011) traz em seus estudos que os métodos a serem aplicados para determinar a capacidade de captação dos diferentes tipos de bocas de lobo variam conforme os parâmetros alusivos aos escoamentos das sarjetas no sistema.

3.5.5. Período de retorno (T_r)

Caracterizado como sendo o período de retorno médio que um determinado evento hidrológico, é igualado ou superado pelo menos uma vez em sua magnitude. Segundo Righeto (1998) o período de retorno é um parâmetro fundamental para a avaliação e projeto de sistemas hídricos, como reservatórios, canais, vertedores, bueiros, galerias de águas pluviais entre outros. Na Tabela 2 estão algumas sugestões de períodos de retorno adotados no Brasil em obras de microdrenagem e macrodrenagem. Na prática em microdrenagem o período de retorno está entre 2 anos e 10 anos.

Segundo a Fundação Rio-Águas (2010), o período de retorno estabelecido para projetos de microdrenagem na Cidade do Rio de Janeiro é de 10 anos. Já para Thomaz (2012), deve-se adotar para o Brasil o período de retorno de 25 anos para microdrenagem.

Tabela 2 - Períodos de retorno para diferentes ocupações da área

Tipos de obras	Ocupação do solo	Período de retorno (anos)
Microdrenagem	Residencial	2
Microdrenagem	Comercial	5
Microdrenagem	Edifícios públicos	5
Microdrenagem	Aeroportos	2 - 5
Microdrenagem	Comercial, artéria de tráfego	5 - 10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50 – 100
Macro drenagem	Área de importância específica	500

Fonte: Porto, Rubem (1995)

3.5.6 Tempo de Concentração (t)

O tempo de concentração é definido como sendo o tempo que leva uma gota de água mais distante, chegar até o trecho considerado na bacia. De acordo com Tomaz (2019), existem somente três maneiras em que a água é transportada em uma bacia de drenagem: a primeira é o escoamento superficial, a segunda é o escoamento em tubos e a terceira é o escoamento em canais incluso sarjetas.

Sendo a obtenção do tempo de concentração uma informação importante para o cálculo da intensidade de precipitação, algumas fórmulas são usadas na sua determinação. No entanto, McCuen (1993), citado por Tomaz (2009), ressalta que não é possível obter o valor do tempo de concentração por um simples método, devido o tempo de concentração introduzir incertezas no dimensionamento da vazão de pico, devendo-se calcular por vários métodos e conferir sempre.

Porto (1995), recomenda que deve sempre que possível utilizar o método cinemático para os trechos canalizados da bacia, porque as velocidades de escoamento dependem, grandemente, das características da bacia. A Equação 3 considera o cálculo do escoamento superficial, que deve ser entendido quando a chuva escoar sobre um gramado, uma floresta, um asfalto ou concreto. Está incluso o impacto das gotas de água, os obstáculos dos escoamentos como os lixos, vegetação e pedras e transporte de sedimentos.

$$t = \frac{6,99 \cdot \left(\frac{n \cdot L}{S^{0,5}}\right)^{0,60}}{i^{0,4}} \quad (3)$$

Sendo:

t – tempo de escoamento superficial (min);

n – coeficiente de Manning para o escoamento superficial;

L – comprimento do ponto mais distante até o ponto de saída da bacia de drenagem (m)

S – declividade da bacia de drenagem (m/m)

i – intensidade de precipitação (mm/h)

O cálculo do tempo de concentração deve ser feito por tentativas, devido se ter uma equação e duas incógnitas. Uma é o tempo de concentração do escoamento superficial (t) e a outra a intensidade de precipitação (i). Desse modo, deve ser arbitrado um valor do tempo de concentração (t), calculado o valor da intensidade de precipitação (i) e achar o valor de “t” e conferir com o valor inicial, até que os valores convirjam para uma precisão adequada.

De acordo com Tomaz (2019), é comum adotar-se um tempo mínimo no início dos cálculos dos tempos de concentração. Se a área é urbana adota-se o tempo mínimo inicial de 5min e se a área é rural adota-se o mínimo de 10 min. Em áreas urbanizadas o primeiro ponto para se calcular o tempo de concentração deve ser tal que não possa exceder a seguinte equação (4) empírica:

$$t = \frac{L}{45} + 10\text{min} \quad (4)$$

Sendo:

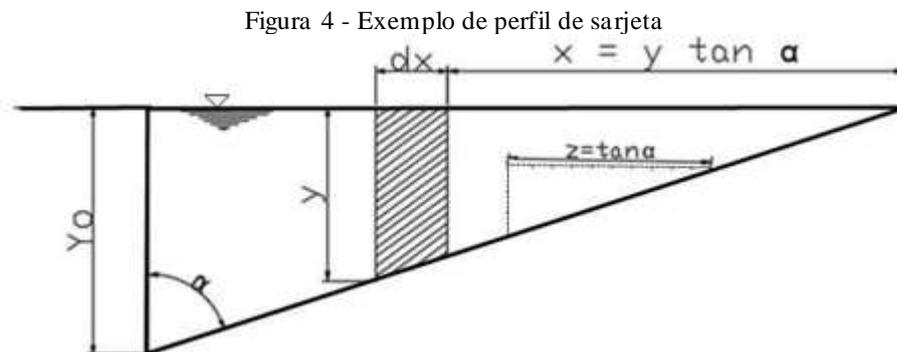
t – tempo de concentração inicial (min);

L – comprimento do escoamento superficial (m)

3.6. Sarjetas

As sarjetas são canais formados entre a via pública e o meio fio ou guia. São canais de seção triangular, com a finalidade de coletar a água escoada nas vias públicas e direcioná-las para ralos ou bocas de lobo (NETTO, 1998).

Segundo Wilken (1978), quando a seção longitudinal da sarjeta possui uma declividade uniforme, a vazão pode ser calculada pela fórmula de Manning adaptada por Izzard (Equação 6), para um escoamento em canal triangular (Figura 4).



Fonte: Wilken (1978)

Quando a seção transversal da sarjeta consistir essencialmente de um pavimento com declividade uniforme para a face da guia, a vazão pode ser calculada com o emprego da fórmula da Manning, desde que se despreze a parte do perímetro molhado correspondente à face da guia, e substitua pela altura da guia, isto é, $R_h = y$ (WILKEN, 1978).

Pela equação da continuidade, a vazão da faixa elementar de espessura dx e altura y , é dada por:

$$dQ = V \cdot y \cdot dx \quad (5)$$

$$dQ = \frac{y^{2/3} \cdot I^{1/2}}{n} y \cdot dx \quad (6)$$

$$dQ = \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot dx \quad (7)$$

$$Q_0 = \int_0^{y_0} \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot dx \quad (8)$$

Sendo $x = y \cdot \tan \theta_0$ teremos:

$$dx = \tan \theta_0 \cdot dy \quad (9)$$

$$z = \tan \tan \theta_0 \quad (10)$$

Substituindo em (8):

$$Q_0 = \int_0^{y_0} \frac{y^{5/3} \cdot I^{1/2}}{n} \cdot z \cdot dx \quad (11)$$

Portanto:

$$Q_0 = 0,375 y_0^{8/3} \cdot z \cdot \frac{I^{1/2}}{n} \quad (12)$$

Da qual obtemos:

$$y_0 = 1,445 \frac{1}{z^{3/8}} \left(\frac{Q_0}{\frac{I^{1/2}}{n}} \right)^{3/8} \quad (13)$$

E:

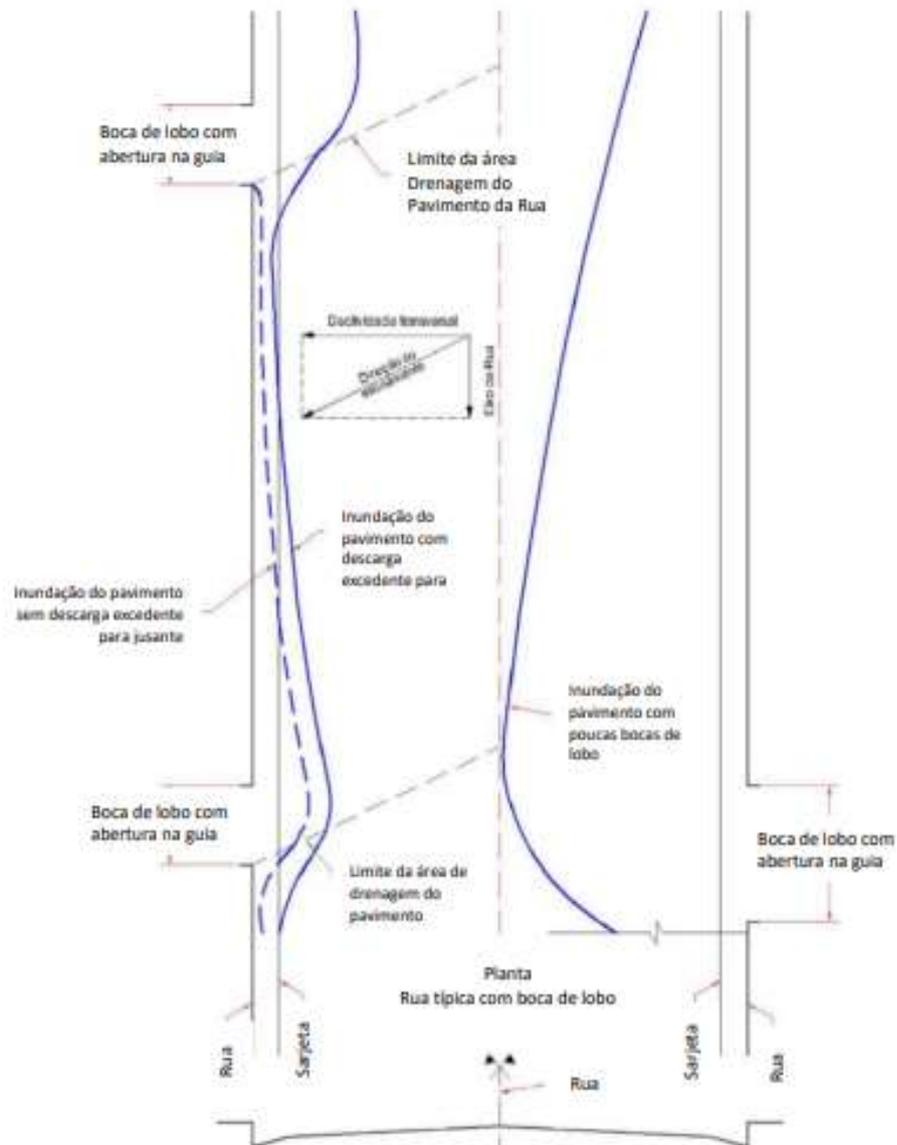
$$V_0 = 0,958 \frac{1}{z^{1/4}} \left(\frac{I^{1/2}}{n} \right)^{3/4} Q_0^{1/4} \quad (14)$$

3.6.1. Escoamento sobre a Sarjeta

Sarjetas podem ser conceituadas como dispositivos de drenagem elaborados paralelamente à faixa de rolamento das vias, cujo objetivo é interceptar o volume de água pluvial sobre local, visando não comprometer a usabilidade das vias, a integridade da pavimentação e a segurança aos usuários (DNIT, 2006).

Csobi (2011) explica que o escoamento superficial na mediatriz das vias é zero, onde a precipitação que chega ao leito do pavimento escoam transversalmente até alcançar as sarjetas e guias. Sendo assim, o escoamento superficial aumenta progressivamente à medida em que se aproxima da sarjeta. A Figura 5 exibe a configuração de um típico escoamento em uma via pavimentada, onde o fluxo do escoamento corre desde a faixa de rolamento até a sarjeta.

Figura 5 - Representação de fluxo de escoamento superficial



Fonte: CSOBI (2011)

Para Guo (2000), a capacidade de escoamento superficial das vias depende das características das vias e condições do tráfego. Utiliza-se usualmente os conceitos expostos na Quadro 5 para definir a faixa de inundação.

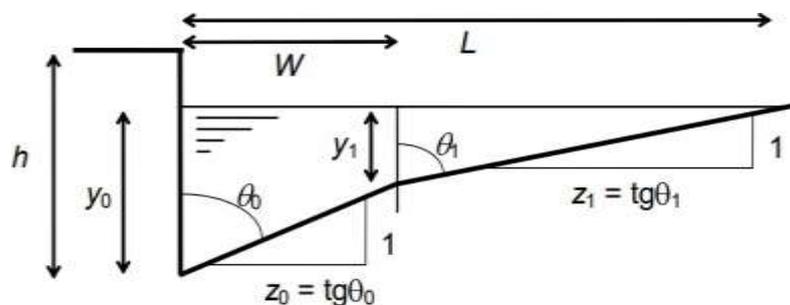
Quadro 5 - Classificação das vias quanto a máxima de inundação

Classificação das ruas	Inundação máxima
Secundária	Sem transbordamento sobre a guia. O escoamento pode atingir a crista da rua.
Principal	Sem transbordamento sobre a guia. O escoamento deve preservar pelo menos uma faixa de tráfego.
Avenida	Sem transbordamento sobre a guia. O escoamento deve preservar pelo menos uma faixa de tráfego, em cada direção.
Expressa	Nenhuma inundação é permitida em qualquer faixa de trânsito.

Fonte: CETESB (1986)

A representação da seção do escoamento de uma via é mostrada conforme a Figura 6.

Figura 6 - Seção de escoamento de uma via pavimentada



Fonte: Adaptado de Barreiro (1997)

Para escoamento em um canal livre, a vazão máxima da sarjeta pode ser apresentada com base na aplicação da Equação 15 de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} R_H^{\frac{2}{3}} A \sqrt{I} \quad (15)$$

Onde:

Q – Vazão máxima na sarjeta (m³/s)

n – Coeficiente de Manning (adimensional)

R_H – Raio Hidráulico da seção de escoamento (m)

A – Área da seção de escoamento (m²)

I – Inclinação longitudinal da sarjeta (m/m)

Porém, Izzard (1946) em seus estudos informa que, para obter melhores resultados, é prudente desconsiderar a parcela do perímetro molhado que corresponde à face da guia, desta maneira, propôs uma modelo com base numa seção mais simples conforme Equação 16.

$$Q = 0,375 \cdot z \cdot \frac{\sqrt{I}}{n} \cdot y_0^{\frac{8}{3}} \quad (16)$$

Onde:

Z – Inverso da declividade transversal

y_0 – profundidade junto à linha de fundo (m)

O coeficiente de Manning para cada tipo de material conforme sua rugosidade, pode ser observado no Quadro 6:

Quadro 6 - Coeficiente de Manning conforme a rugosidade do material

Tipo de Superfície	Coeficiente
Sarjeta de concreto	0,012
Pavimento de asfalto	-
- Textura lisa	0,013
- Textura áspera	0,016
Sarjeta de concreto com acabamento de asfalto	-
- Textura lisa	0,013
- Textura áspera	0,014
Pavimento de Concreto	-
- Acabamento com desempenadeira	0,014
- Acabamento com manual liso	0,016
- Acabamento com manual áspero	0,020

Fonte: Adaptado de Barreiro (1997)

Fattori e Benetti (2000) explicam que ao analisar a capacidade de escoamento calculada por ambas as metodologias, exibem uma diferença de 31,5% e a diferença total aumenta com o acréscimo da declividade, como pode ser visto na Quadro 7.

Quadro 7 - Capacidade de condução Manning x Izzard

Declividade (%)	Q (L/s) - Manning	Q (L/s) - Izzard	Diferença (L/s)	Diferença (%)
1	75,5	99,3	23,8	31,5
2	6,7	140,4	133,7	31,5
3	130,7	171,9	41,2	31,5
4	150,1	198,5	48,4	31,5
5	168,8	221,9	53,1	31,5
6	184,9	243,1	58,2	31,5
7	199,7	262,6	62,9	31,5
8	213,5	280,7	67,2	31,5
9	226,4	297,8	71,4	31,5

Fonte: Fattori et al. (2000)

Estudos realizados por Coelho e Lima (2011) acerca da capacidade hidráulica de bocas de lobos em sarjetas de greide contínuo, apresentam a equação de Manning como o melhor método quando comparado com os resultados da aplicação utilizando a equação de Izzard, para determinar a vazão de escoamento na sarjeta.

Para dimensionar a capacidade da vazão de uma sarjeta, é necessário levar em consideração as velocidades máximas e mínimas do escoamento, pois, velocidades a partir de 0,5 m/s podem gerar formação de depósitos de sólidos e modificar a configuração da seção da sarjeta. Já para velocidades a partir de 4,5 m/s, a vazão do escoamento pode provocar desgaste e erosão da superfície pavimentada (WILKEN, 1978).

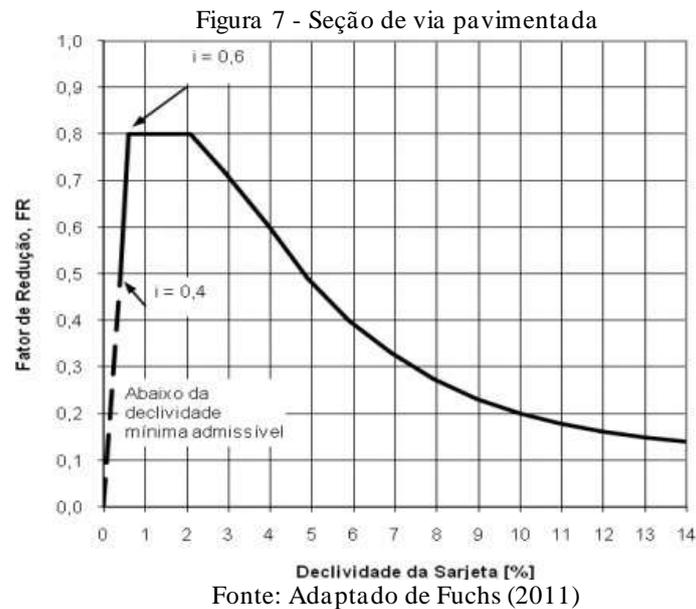
Alguns manuais recomendam o uso do fator de redução, calculado pelo método de Izzard, com objetivo de atenuar as adversidades que as declividades acentuadas podem ocasionar, conforme a Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de Redução de Escoamento das Sarjetas

Declividade da Sarjeta (%)	0,4	1-3	5	6	8	10
Fator de Redução	0,50	0,80	0,50	0,40	0,27	0,20

Fonte: DAEE (1986)

Fuchs (2011) em seus estudos, traz uma relação entre a declividade e o fator de redução, visto que são parâmetros de grandezas diretamente proporcionais (Figura 7).



Uma vez conhecidas as vazões máximas e o escoamento superficial em sarjetas, é necessária a instalação do dispositivo responsável pela captação deste fluxo d'água, as bocas de lobo.

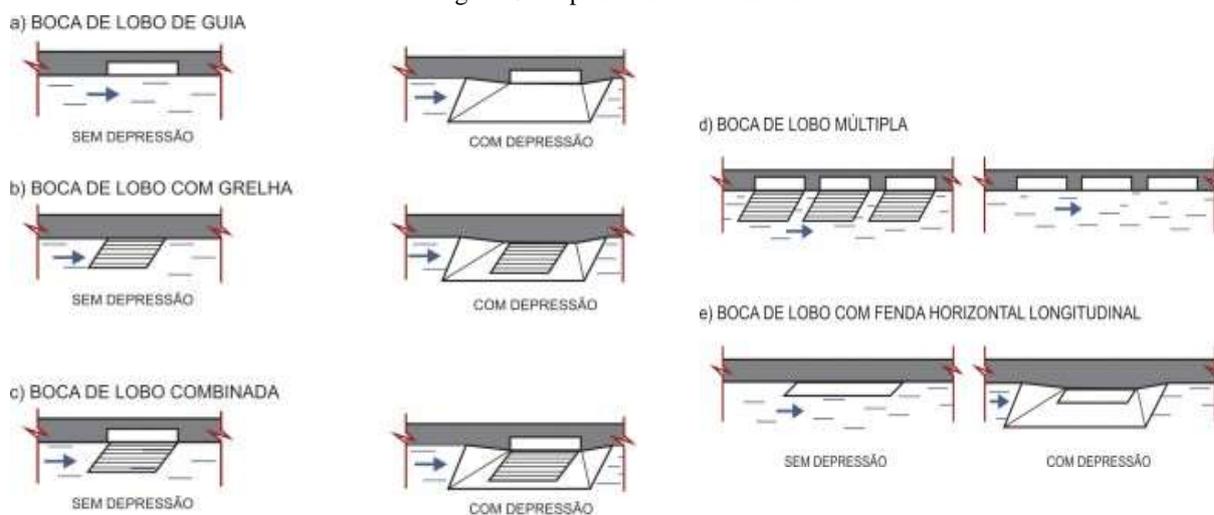
3.7. Dimensionamento de Bocas de Lobo

Lima e Coelho (2011) explicam que em sistemas de drenagem urbana convencionais, as bocas de lobo têm como objetivo a captação do volume de água que escoar por meio das sarjetas, conectando as águas de chuva até os dispositivos subterrâneos, como as galerias.

SMDU (2012) explica que as bocas de lobo podem ser de 5 tipos, como exhibe a Figura 8:

- a) Simples;
- b) Com grelha;
- c) Combinada;
- d) Múltipla;
- e) Com fenda.

Figura 8 - Tipos de Boca de Lobo



Fonte: SMDU (2012)

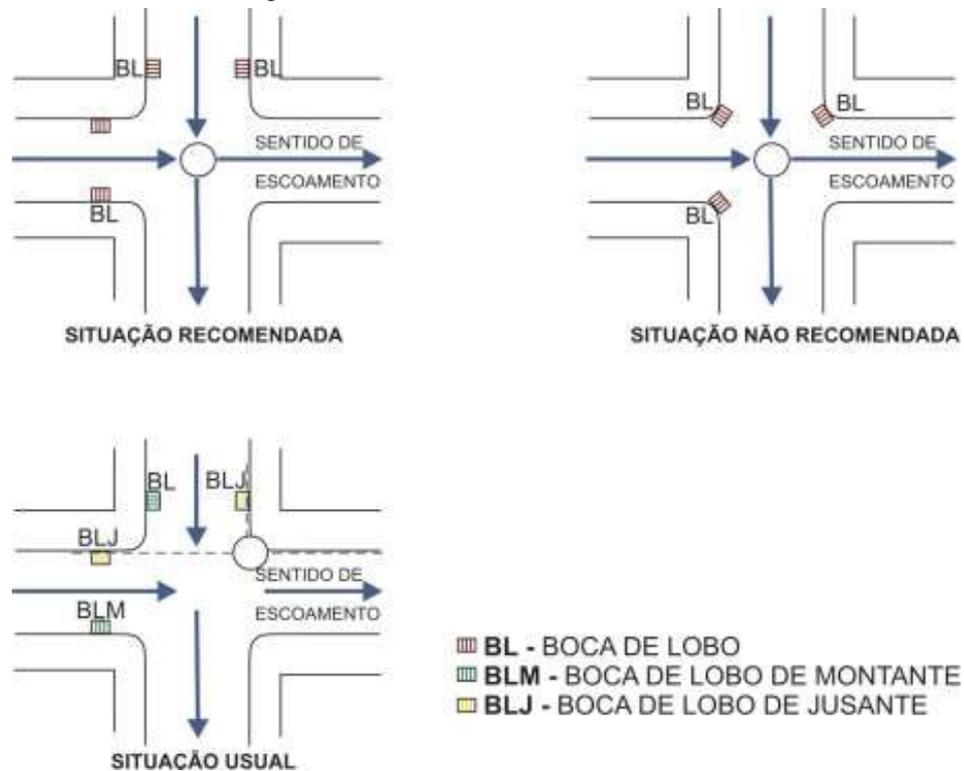
Para Coelho e Lima (2011), mesmo tendo como imprescindível o estudo da dinâmica das bocas de lobo em sistemas de microdrenagem, os trabalhos não concluem satisfatoriamente todas as particularidades de operação deste dispositivo hidráulico.

Apesar de muitas discussões acerca da capacidade, operação e tipologia das bocas de lobos, poucos estudos inferem sobre o posicionamento delas (Figura 9) em sistemas de drenagem urbana (LUCAS, 2019).

De acordo SMDU (2012), a locação desses dispositivos deve seguir essas sugestões:

- 1) serão locadas em ambos os lados da rua quando a saturação da sarjeta assim o exigir ou quando forem ultrapassadas as suas capacidades de captação;
- 2) serão locadas nos pontos baixos das quadras;
- 3) recomenda-se adotar um espaçamento máximo de 60 m entre as bocas de lobo caso não seja analisada a capacidade de descarga da sarjeta;
- 4) a melhor solução para a instalação de bocas de lobo é que esta seja feita em pontos pouco a montante de cada faixa de cruzamento usada pelos pedestres, junto às esquinas;
- 5) não é aconselhável a sua localização junto ao vértice do ângulo de interseção das sarjetas de duas ruas convergentes pelos seguintes motivos: (I) os pedestres, para cruzarem uma rua, teriam que saltar a torrente num trecho de máxima vazão superficial e (II) as torrentes convergentes pelas diferentes sarjetas teriam como resultante um escoamento de velocidade contrária ao da afluência para o interior da boca de lobo.

Figura 9 - Posicionamento de bocas de lobo



Fonte: SMDU (2012)

3.7.1. Critérios de espaçamento entre bocas de lobo

As bocas de lobo são comumente localizadas imediatamente a montante das curvas das guias nos cruzamentos, em pontos baixos do perfil e em pontos intermediários segundo as necessidades de captação de água. Nas ruas pavimentadas com concreto ou asfalto a altura da água junto à guia é menor e a largura do canal é consideravelmente maior do que nas ruas de seção transversal parabólica. Desse modo, as bocas de lobo com abertura na guia ou do tipo com grade, podem ser satisfatórias em ruas de seção transversal parabólica (WILKEN, 1978)

As bocas de lobo são ralos de diferentes tipos que apresentam a finalidade de captar água escoada na sarjeta e direcioná-las para galeria subterrânea. Ou seja, agem retirando as águas das ruas para não gerar alagamento. De acordo com Azevedo Neto (1998), as bocas de lobo devem ser localizadas de seguintes maneiras: (i) Em ambos os lados das ruas quando a capacidade hidráulica da sarjeta exigir; (ii) Também nos pontos baixos das quadras; e (iii) Junto aos cruzamentos, elas devem estar a montante do vértice de interseção das sarjetas.

Todos os tipos de boca de lobo podem ainda ser utilizadas com ou sem depressão, no meio da sarjeta ou nos seus pontos baixas (SMDU, 2012). Entretanto, as bocas

de lobo são confeccionadas, geralmente, pelos municípios com dimensões já definidas, assim, já apresentando a capacidade de captação delas.

Segundo a Instruções Técnicas de Projeto da Rio-Águas (2010), a capacidade de captação da grelha padrão da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, a ser considerada nos projetos de drenagem urbana, encontra-se na faixa de 30 a 40 l/s. A eficiência máxima, normalizada pelo Departamento de Esgotos Pluviais (DEP) da Prefeitura de Porto Alegre (2005), chega a 40% de vazão de efluente captada em relação à vazão da sarjeta, para uma rua com declividade em torno de 0,07 m/m. Para ruas com declividade em torno de 0,01 m/m, a eficiência chega a 60% de vazão da sarjeta. Pode-se considerar uma captação média de 30 l/s boca de lobo.

A construção de estruturas de captação do escoamento superficial para toda área urbana não é economicamente viável. Sendo necessárias análises de determinação de locais apropriados para a instalação destes dispositivos de captação das águas pluviais (WILKEN, 1978).

Segundo Wilken (1978), a localização da primeira boca de lobo do sistema de drenagem deverá ser instalada quando o escoamento pluvial atingir o limite da capacidade de vazão da sarjeta, para o valor da altura de água y_0 , máxima na sarjeta, geralmente $y_0 = 13$ cm.

No caso em que a área de contribuição da bacia for maior que a área de drenagem máxima admissível pelas sarjetas, é necessário colocar pares de boca de lobo na via pública. Segundo Wilken (1978) a área de drenagem máxima dependerá apenas da declividade da via pública. Quanto maior for a declividade, maior será a área de contribuição para o escoamento superficial. Porém, considerando que a velocidade admissível do escoamento na via pública não ultrapasse 3 m/s, a declividade máxima, para análise de localização da boca de lobo descrita acima, será de 0,1 ou 10%.

De acordo com Wilken (1978) o espaçamento entre as bocas deve ser dimensionado considerando os seguintes aspectos:

- i. As bocas de lobo a serem localizadas devem captar a contribuição de uma área de A hectares;
- ii. Pelo eixo da galeria está a área de L_b metros de comprimento, correspondendo ao espaçamento entre dois pares de bocas de lobo e largura h entre divisores de água;
- iii. A contribuição pluvial é calculada por trechos de L_b com 20 metros de comprimento, denominados “estações”.

Ou seja, o espaçamento é igual ao comprimento do trecho da “estação”, multiplicado pelo número de estações que suportam uma boca de lobo. Não leva em consideração a capacidade de armazenamento da sarjeta.

De acordo com o Manual de drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos e diretrizes para projetos da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano - SMDU da cidade de São Paulo – (Figura 10), o espaçamento entre as bocas de lobo, em áreas urbanas, baseia-se na fixação de uma largura máxima de escoamento na sarjeta que seja compatível com o conforto dos pedestres (SMDU, 2012).

Como a capacidade de esgotamento das bocas de lobo é menor que a calculada devido a vários fatores, entre os quais a obstrução causada por detritos, irregularidades nos pavimentos das ruas junto às sarjetas e ao alinhamento real, na Tabela 4 são propostos alguns coeficientes para estimar esta redução.

Tabela 4 - Fator de eficiência na redução do escoamento para bocas de lobo

Localização na sarjeta	Tipo de boca de lobo	% permitida sobre o valor teórico
Ponto Baixo	De guia	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto intermediário	De guia	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou longitudinal com barras transversais combinadas	60

Fonte: DAEE/ CETESB (1980)

A SMDU (2012) elaborou um roteiro para calcular o espaçamento entre duas bocas de lobo de acordo com as seguintes etapas:

- i. Calcular a vazão (Q_0) imediatamente a montante da boca de lobo (i+1);
- ii. Calcular a eficiência ($E = Q/Q_0$) da boca de lobo (i+1);
- iii. Determinar o valor da vazão engolida ($Q = E.Q_0$) pela boca de lobo (i+1);
- iv. A vazão proveniente da área A vinda da rua é igual à vazão engolida pela boca de lobo (i+1). Pode-se utilizar o Método Racional (Equação 17) para calcular esta área A, da seguinte forma:

$$A = \frac{1000 \cdot Q}{60 \cdot C \cdot i} \quad (17)$$

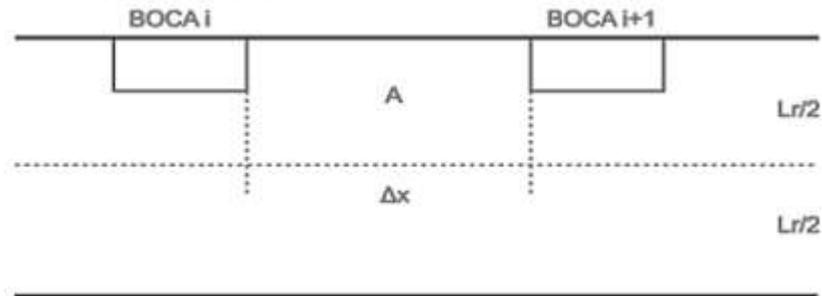
Onde

Q – vazão captada pela boca de lobo (m^3/s);

C – coeficiente de escoamento superficial;

i – intensidade de precipitação (mm/min)

Figura 10 - Esquema do espaçamento entre as bocas de lobo em áreas urbanas



Fonte: SMDU (2012)

Como $A = (L_R/2) \cdot \Delta x$, tem-se que o valor de Δx é dado pela Equação 18:

$$\Delta X = \frac{2000 \cdot Q}{60 \cdot C \cdot i \cdot L_r} \quad (18)$$

Onde:

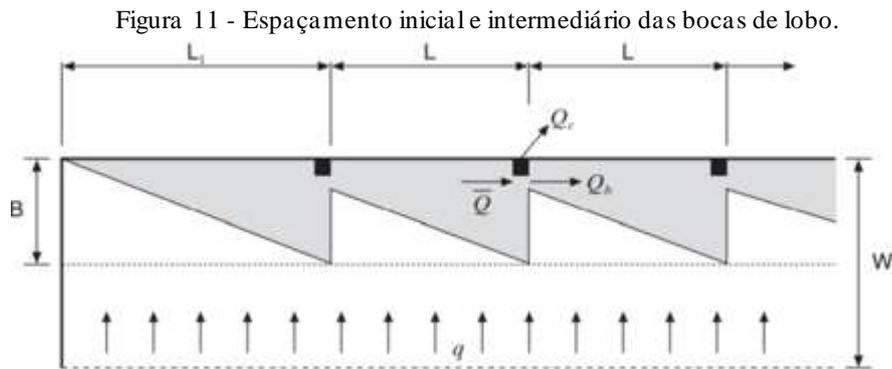
ΔX – distância entre bocas de lobo (m);

L_r - largura da rua (m)

Portanto, nota-se que o espaçamento entre as bocas de lobo é definido pela área de contribuição apenas da rua, não considerando o escoamento superficial proveniente dos terrenos adjacentes.

Segundo Butler e Davies (2004), o projeto de localização das bocas de lobo (“gully” em inglês) deve atender um espaçamento que seja suficiente para garantir que a vazão propagada na via pública seja menor que a largura permitida (B).

A Figura 11 mostra um diagrama esquemático das concentrações de águas pluviais ao longo da estrada, proveniente de uma chuva constante (q). As bocas de lobo são espaçadas por uma distância L , exceto a primeira boca de lobo, que está a uma distância L_1 .



Fonte: Butler & Davies (2004)

O espaçamento intermediário (L) é determinado da seguinte maneira conforme Butler e Davies (2004):

- i. A largura máxima inundada é B ;
- ii. A vazão da via pública (Q_r) é o somatório de q , ou seja,

$$Q_r = q \cdot L \quad (19)$$

iii. A vazão resultante (Q) é igual a vazão proveniente da via pública (Q_r) mais a vazão resultante da boca de lobo anterior (Q_b) que não foi captada:

$$Q = Q_r + Q_b \quad (20)$$

iv. Utilizando o Método Racional, considerando o coeficiente de rugosidades (C) igual a 1, temos que a vazão da via pública será:

$$Q = C \cdot i \cdot A = i \cdot L \cdot W \quad (21)$$

Onde:

- i - intensidade de precipitação (mm/h);
- W - largura total da via pública (m); e
- L - espaçamento entre as bocas de lobo (m)

v. A vazão escoada é igual a vazão captada pela boca de lobo (Q_b) mais a vazão não captada (Q_c)

$$Q_{es} = Q_c + Q_b \quad (22)$$

vi. A eficiência hidráulica de captação (E) é a relação entre a vazão captada da via pública (Q_r) e a vazão escoada (Q_{es}). Igualando a vazão captada pela boca de lobo (Q_c) e a vazão escoada, proveniente do método racional (Q_r), temos:

$$E = \frac{Q_r}{Q_{es}} = \frac{i \cdot W \cdot L}{Q_{es}}, \text{ sendo: } L = \frac{E \cdot Q_{es}}{i \cdot W} \quad (23)$$

vii. A primeira boca-de-lobo é um caso especial pois a mesma não possui contribuição da boca-de-lobo à montante de modo que $Q_b = 0$ e $Q_r = Q_{es}$, sendo determinado pela equação de Manning adaptada por Izzard (Equação 24).

$$L_1 = \frac{Q_{es}}{i \cdot W} \quad (24)$$

Pode-se dizer que o espaçamento entre as bocas de lobo é igual ao espaçamento da primeira boca de lobo vezes a eficiência de captação delas. Na Tabela 5 mostram-se exemplos da eficiência de boca de lobo com declividade transversal padrão.

Tabela 5 - Eficiências de boca de lobo com declividade transversal padrão de 1:20

Largura de fluxo <i>B (m)</i>	Declividade longitudinal (1: X)				
	20	30	50	100	300
0.5	100	100	100	100	100
0.75	87	94	97	99	100
1.0	63	75	82	93	96
1.5	33	43	47	60	76

Fonte: Butler & Davies (2004).

$$L = E \times L_1 \quad (25)$$

Onde:

L – espaçamento final entre bocas de lobo (m)

E – eficiência hidráulica de captação da boca de lobo (%)

L_1 – espaçamento da primeira boca de lobo (m)

Portanto, ambos os espaçamentos L e L_1 apresentam área de contribuição apenas associada à via pública; comprimento é o espaçamento (L) multiplicado pela largura da rua (W), não considerando as águas pluviais provenientes dos terrenos.

O estudo de Moraes (2015) teve como objetivo padronizar os procedimentos técnicos para o dimensionamento da microdrenagem para o município de Santo André no estado de São Paulo de acordo com os seguintes procedimentos:

- i. Cálculo da vazão do escoamento superficial (vias e sarjetas) utilizando o Método de Izzard, por meio da expressão:

$$Q_o = 0,375 y_o^{8/3} \cdot \frac{S^{1/2}}{n} \cdot z = K \cdot \sqrt{S} \quad (26)$$

Sendo:

Q_o - Vazão de Escoamento Superficial (m^3/s)

K = Coeficiente de simplificação (m^3/s), conforme Quadro 8

S = declividade da via (m/m)

O valor do coeficiente de simplificação (K), em função da largura da via, é apresentado na Quadro 8:

Quadro 8 - Valores de K em função da largura da via

Largura da via (m)	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
K	0,539	0,718	0,898	1,077	1,257	1,436	1,616	1,795

Fonte: SEMASA – SP (2015)

- iii. Cálculo da área de contribuição ou da bacia de contribuição determinando o ponto de descarga, localizando os dispositivos de drenagem (redes, sarjetas e sarjetões), compreendendo a direção do fluxo de escoamento das águas e por fim, calcular a área de contribuição;
- iv. Cálculo da vazão da área de contribuição utilizando o Método Racional (bacias de até $2,0 \text{ km}^2$), a partir da Equação 27.

$$Q_c = C.I.A$$

(27)

Sendo:

Q_c = Vazão da área de contribuição (m^3/s);

C = Coeficiente de escoamento, conforme Quadro 9 (adimensional);

I = Intensidade média de precipitação da área de contribuição (m/s), determinada com curvas de IDF local;

A = Área de contribuição (m^2)

Quadro 9 - Valores de C em função das características da bacia

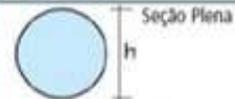
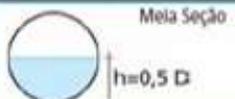
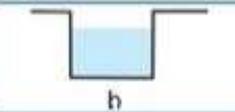
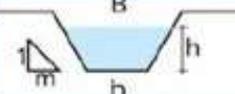
Característica da Bacia	C (Mín)	C (Máx)
Edificações muito densas	0,70	0,95
Edificações com muitas superfícies livres	0,25	0,50
Matas, parques e campo de esportes	0,05	0,20

Fonte: SEMASA – SP (2015)

- v. Comparação entre as vazões do escoamento superficial e da área de contribuição: Sendo a vazão da área de contribuição menor do que a vazão de escoamento superficial, então não será necessário implantar sistema de drenagem subterrânea, caso contrário, será necessário fazer projeto para implantar sistema galeria de águas pluviais (GAP);
- vi. Nivelamento da rede projetada: O nivelamento do terreno no trecho a implantar a galeria pluvial é necessário para obter os dados para as etapas de projeto a seguir;
- vii. Critérios de dimensionamento da galeria de águas pluviais: O dimensionamento da galeria, determinação das quantidades de dispositivos e locação das caixas de drenagem seguem as recomendações de projeto abaixo:
 - Distribuição entre caixa de drenagem até 100,0 m;
 - Velocidade máxima de 5,0 m/s e velocidade mínima de 0,75 m/s e a média de 3,0 m/s;
 - Degrau máximo entre tubos de 1,0 m;
 - Para os ramais, usar diâmetro mínimo de 500 mm e para as redes, usar diâmetro mínimo de 600 m;
 - As seções circulares são dimensionadas à seção plena ou $y = 0,94d$ e as retangulares e trapezoidais com altura livre mínima de $0,10.y$ (Figura 12);
 - Por questões econômicas, adotar o diâmetro mínimo e a declividade do terreno, em seguida, determina-se a capacidade da rede utilizando a equação da continuidade ($Q = A \cdot V$), sendo “V” determinado pela equação de Manning (Figura 12);

- Nas mudanças de diâmetro (ou dimensões), as geratrizes superiores internas devem estar alinhadas.

Figura 12 – Seções geométricas de galerias de águas pluviais

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

Fonte: Moraes (2015)

- viii. Determinação da quantidade de dispositivos: A quantidade de dispositivos e locação das caixas de drenagem é determinada pela Equação 28 e recomendações abaixo:

$$N_d = \frac{Q_c}{Q_d} \quad (28)$$

Sendo:

Nd - nº de dispositivos (adimensional)

Qc - vazão da área de contribuição (m³/s)Qd - vazão de capacidade do dispositivo (m³/s)

- ix. Recomenda-se projetar as redes no eixo das vias, porém no caso de avenidas, as redes deverão preferencialmente ser projetadas sob o canteiro central;
- x. As conexões dos ramais poderão ser feitas em caixas de drenagem em número máximo de 04 (quatro). Os pontos baixos nos greides das vias devem ser providos de dispositivos de captação, sempre antes da faixa de passagem dos pedestres;

- xi. Elaboração do projeto gráfico, incluindo os elementos da GAP, execução do orçamento e do parecer técnico.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Área de Estudo

A pesquisa foi conduzida na área do estacionamento do Edifício Prof. Vasconcelos Sobrinho – CEAGRI II, localizado na Zona Administrativa IV da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) – Campus de Dois Irmãos em Recife - PE. O estacionamento do CEAGRI II possui uma área de 1372,40 m² estacionáveis e, durante eventos de chuva, cinquenta por cento da área ficam inundados, dificultando a utilização e locomoção dos usuários. A Figura 12 ilustra o posicionamento do estacionamento na Zona Administrativa.

Figura 13 - Vista aérea da área do estacionamento do CEAGRI II.



Fonte: Google Earth (2021)

A área do estacionamento possui uma declividade natural fazendo com que o escoamento superficial resultante das chuvas, seja direcionado para um pequeno curso d'água adjacente ao estacionamento. Entretanto, é percebido que durante a construção do estacionamento, por não terem sido construídas unidades de bocas-de-lobo para evacuação de todo o excesso das precipitações, optou-se em instalar, perpendicularmente, sob a calçada de passeio, oito tubos de PVC com diâmetro de 100 mm e espaçados em 10 m de largura, de modo a dar adução às águas que viessem a ficar acumulada no estacionamento.

Em visita ao estacionamento para avaliar a disposição das referidas tubulações, constatou-se que a maioria dessas tubulações se encontram obstruídas devido ao acúmulo de sedimentos, matéria orgânica e vegetação provenientes de materiais carreados dos

escoamentos superficiais, que acabam por piorar a situação da drenagem do estacionamento, principalmente, em episódios chuvosos. As Figuras 14A e 14B mostram as situações de uma das tubulações instaladas sob a calçada de passeio no estacionamento.

Figura 14A e Figura 14B - Tubulação instalada sob o passeio no estacionamento do CAEGRI II.



Fonte: Autor (2022)

A Figura 15 ilustra a área do estacionamento alagada após um evento de precipitação, tomando parte do espaço para o estacionamento de veículos e movimento de transeuntes, inutilizado para seus devidos fins. Isto é reflexo da ausência planejada de um sistema de drenagem, dotado de bocas-de-lobo que possam dar condições de evacuação de todo excedente do escoamento superficial, permitindo dessa forma uma manutenção adequada desse sistema.

Figura 15 - Estacionamento alagado após um evento de chuva



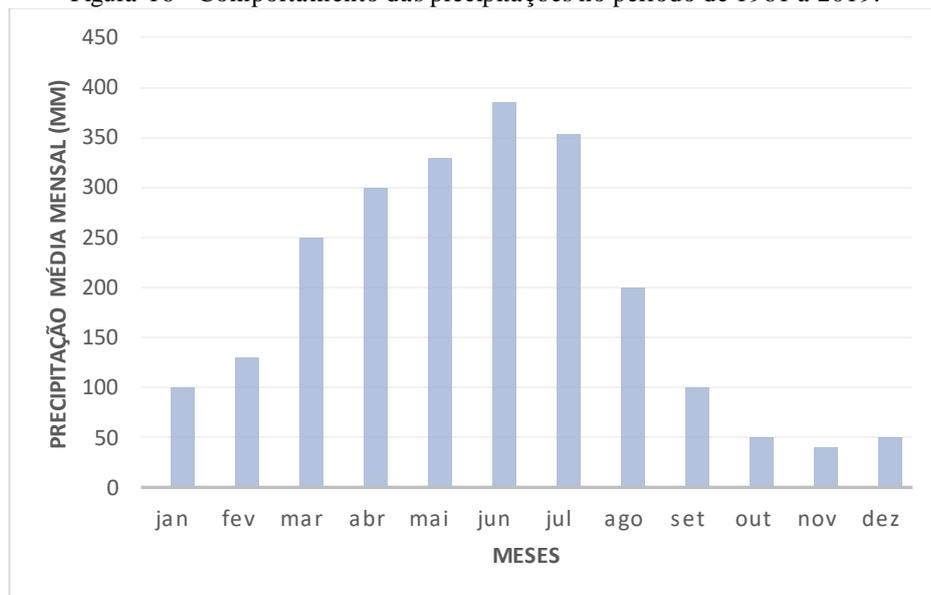
Fonte: Autor (2022)

4.2. Clima

De acordo com Alvares et al. (2013), no município de Recife o clima pode ser classificado como quente e úmido (As'– Köppen), uma vez que a cidade está inserida no litoral pernambucano. A classificação do clima elaborada por Köppen foi revisada pelos pesquisadores Kotttek et al. (2006), Peel et al. (2007) e Medeiros et al. (2018), dando mais ainda credibilidade à metodologia aplicada.

A média anual de precipitação para a cidade de Recife é de 2.263 mm, conforme dados coletados no site da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC, 2021). Conforme Silva et al. (2020) a média do comportamento das precipitações de 1961 a 2019 pode ser vista na Figura 16, onde destacam-se o período úmido, iniciando em abril até julho e o período seco que vai de novembro até abril. Nesses períodos, chegam a acumular os valores de 1.368 mm e 570 mm, respectivamente.

Figura 16 - Comportamento das precipitações no período de 1961 a 2019.



Fonte: Silva (2019)

4.3. Levantamento Topográfico

Para informações detalhadas do comportamento do relevo da área do estacionamento, foi realizado um levantamento topográfico planialtimétrico detalhado, onde foram cadastradas informações relevantes sobre a área objeto dos estudos. As coordenadas dos pontos foram coletadas percorrendo-se toda a área, em zigue-zague, com um receptor de sinal GNSS

(Global Navigation Satellite System) (Figura 17), de frequência L1 – o TechGeo, da linha Zênite 2 – com tempo de rastreio mínimo de 30 segundos.

Os dados coletados foram pós-processados por meio do software GTR Processor. Posteriormente, utilizando o programa computacional AutoCAD, foi elaborada uma planta topográfica planialtimétrica, na escala 1:500, com curvas de nível espaçadas de 0,10 em 0,10 metros, onde constam informações relevantes da área objeto deste estudo. As marcas em triângulo de cor magenta representam o sentido da declividade da bacia de drenagem (Figura 14).

Figura 17 - Receptor de sinal GNSS – TechGeo, linha Zênite 2.

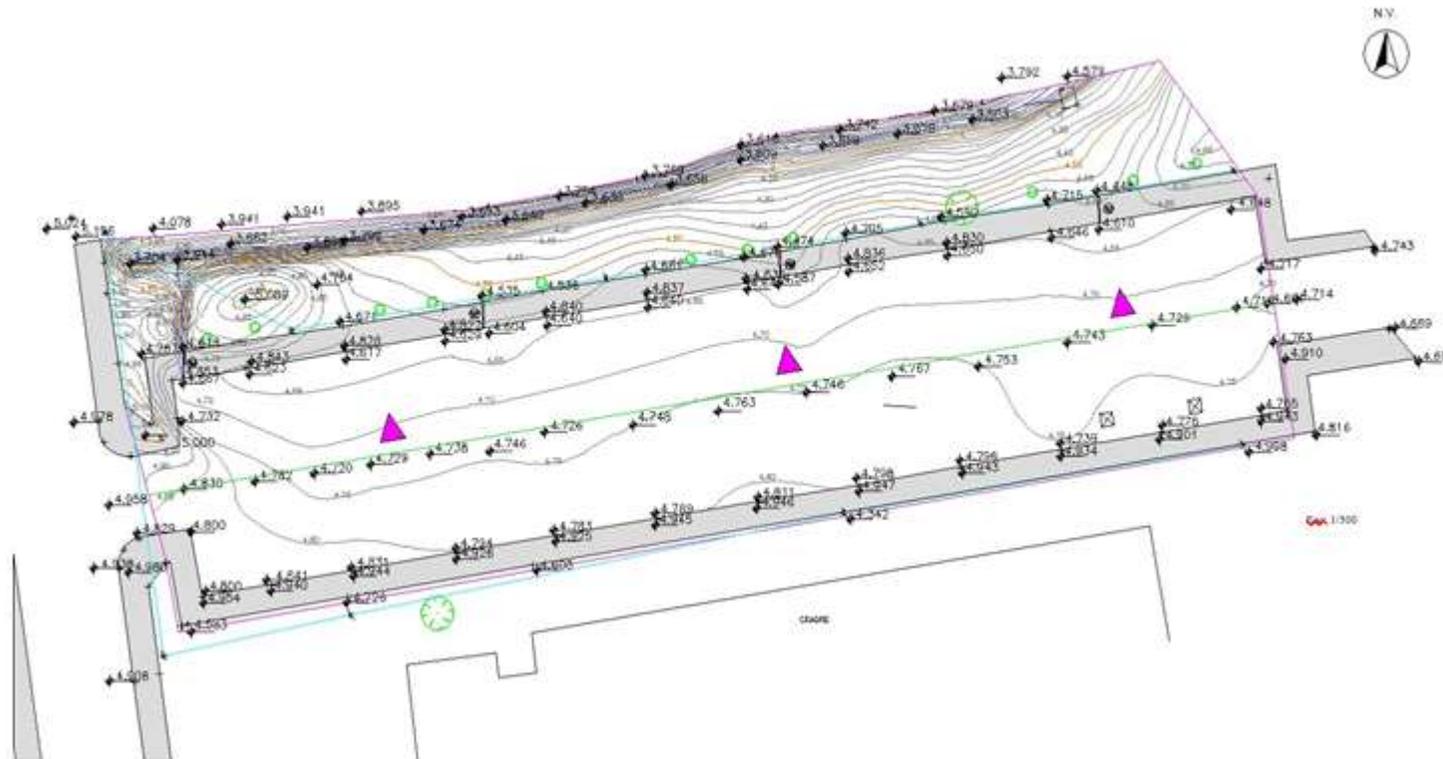


Fonte: Autor (2022)

4.4. Delimitação da bacia de drenagem

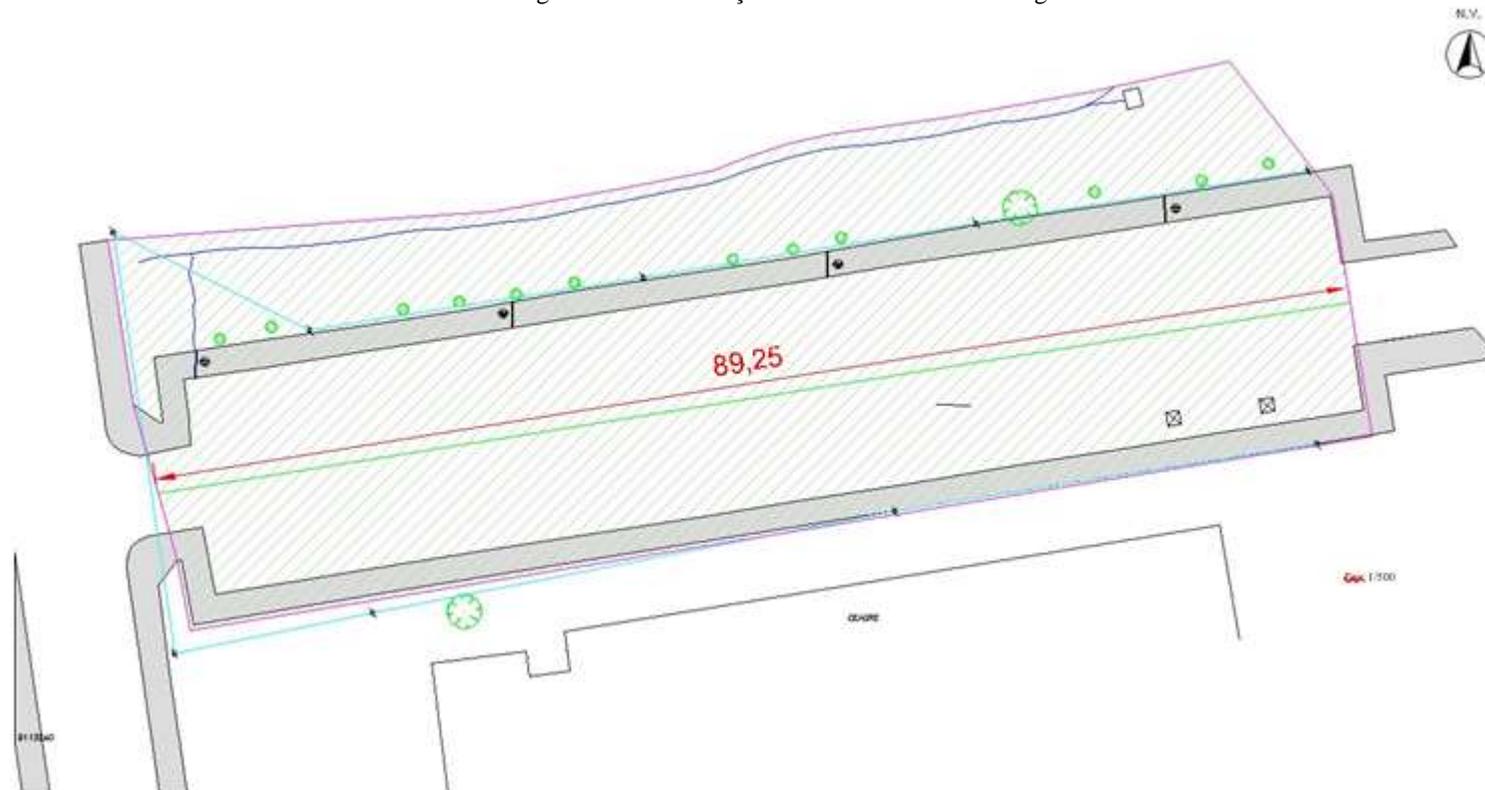
Nesta etapa identificou-se na área do estacionamento a dimensão espacial para delimitação da bacia de drenagem, cujas dimensões ficaram definidas como sendo 89,25 metros de comprimento por 15,68 metros de largura, totalizando uma área de drenagem de 1399,44 m². Considerou-se esta área no estacionamento como sendo a via pública e também a região que abrange todo o escoamento superficial gerado no estacionamento, portanto, a fonte primária da microdrenagem (Figuras 18 e 19).

Figura 18 - Levantamento topográfico da área do estacionamento do CEAGRI II



Fonte: Autor (2022)

Figura 19 - Delimitação da Micro área de Drenagem



Fonte: Autor (2022)

4.5. Intensidades de precipitação

A altura precipitada por unidade de tempo é determinada através da relação intensidade-duração-frequência, denominada também de equação IDF. A equação que determina essa intensidade varia de acordo com a localidade, pois depende de parâmetros empíricos locais, do tempo de retorno do dispositivo a ser implantado e da duração de uma chuva de projeto (TUCCI, 2009).

Algumas equações de Intensidade-Duração-Frequência foram determinadas para a Região Metropolitana de Recife (RMR). Entre essas, destaca-se a que foi proposta por Ramos & Azevedo (2010), em cuja equação utilizaram dados do posto localizado no Aeroporto Internacional dos Guararapes em Recife-PE e teve como base um período de 40 anos de dados (1968 – 2007), apresentando poucos erros e falhas em seus registros (Equação 29).

$$i = \frac{1423,97 T_r^{0,1124}}{(t + 21)^{0,7721}} \quad (29)$$

Onde:

i – intensidade média de precipitação (mm/dia);

T_r – período de retorno (anos);

t – tempo de duração da precipitação (min)

Para o cálculo da intensidade de precipitação, segundo Tucci (2009), os tempos de retorno e a duração das chuvas de projeto (t) podem ser adotados 2, 5, 10 anos e 15 min, respectivamente, valores esses apropriados para projetos de microdrenagem.

Neste trabalho, para o cálculo da intensidade de precipitação, foram adotados diferentes tempos de retorno (2, 5 e 10 anos) e tempos de duração da chuva de projeto de acordo com o tempo de concentração da bacia de drenagem do estacionamento.

As metodologias aplicadas a este trabalho foram divididas em três. A primeira adotada foi a da Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU) da cidade de São Paulo, a qual considera que o espaçamento entre as bocas de lobo, em áreas urbanas, baseia-se na fixação de uma largura máxima de escoamento na sarjeta, que seja compatível com o conforto dos pedestres (SMDU, 2012). A segunda foi a do Urban Drainage (UD), segundo David Butler & John W. Davies (2004), em que é admitido que o projeto de

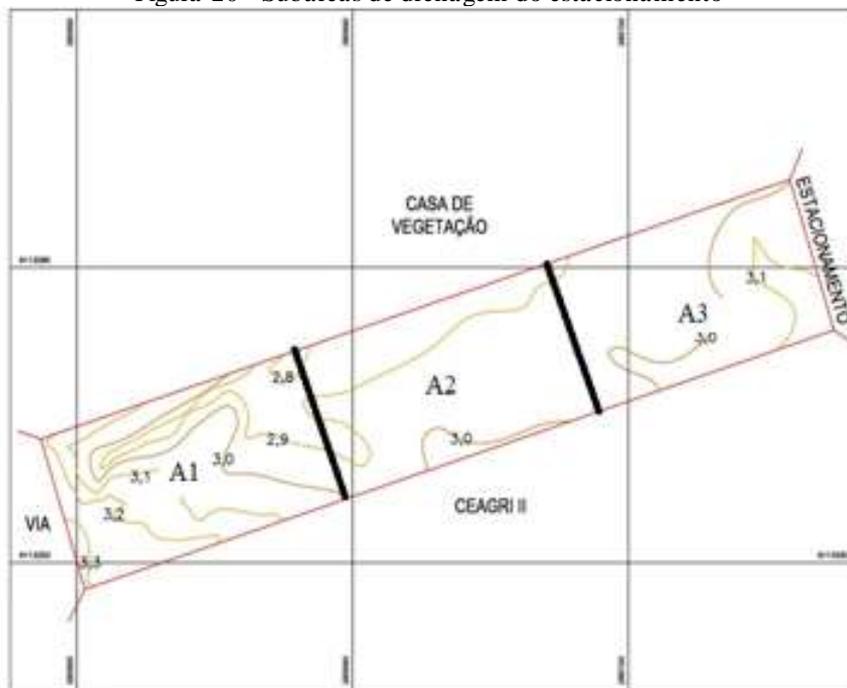
localização das bocas de lobo deve atender um espaçamento que seja suficiente para garantir que a vazão propagada na via pública seja menor que a largura permitida para conforto dos pedestres; e a terceira é baseada nos estudos de Moraes (2015), os quais tiveram como objetivos padronizar os procedimentos técnicos para o dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André (SEMASA) – SP (2015).

A metodologia de acordo com Wilken (1978), não foi empregada neste trabalho devido não existir áreas de contribuição, tais como calçadas e terrenos, adjacentes ao estacionamento, que poderiam influenciar na geração do escoamento superficial.

As metodologias foram aplicadas a um estudo de caso no Estacionamento do Prédio Prof. Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) situado na zona Z - IV da Universidade Federal Rural de Pernambuco.

Na aplicação do método da SMDU utilizou-se da área do estacionamento com 1440 m², a qual foi dividida em três subáreas com dimensões de 30 metros de comprimento por 16 metros de largura (30m x 16m), totalizando áreas parciais de 480m² (Figura 20).

Figura 20 - Subáreas de drenagem do estacionamento



Fonte: Autor (2023)

A intensidade máxima de precipitação foi calculada com a Equação 29. No cálculo foram considerados os tempos de retorno de 2, 5 e 10 anos e os tempos de duração da precipitação de 5, 10 e 15 min. Para os tempos de duração das precipitações das sub-bacias A1, A2 e A3 estudadas, considerou-se apenas o escoamento superficial, sem variação na

velocidade do escoamento, com a distância sendo o limite do escoamento superficial, a largura do estacionamento; tempos de concentração máximos para as subáreas foram calculados com base na Equação 4.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Método SMDU

No cálculo das vazões de contribuição das subáreas utilizou-se a Equação 1, em que são considerados os coeficientes de escoamento superficial de acordo com a Tabela 1, para áreas pavimentadas ($C = 0,90$). França (2019) em sua pesquisa, contribui acerca do coeficiente C traçando uma média entre os variados tipos de coeficiente de escoamento superficial em locais de drenagem deficitárias, entretanto, como no local deste estudo há somente a faixa de rolamento e o passeio, a predominância do coeficiente superficial se dará para o pavimento.

A intensidade de precipitação de acordo com o procedimento do parágrafo anterior e o valor de cada área de drenagem, resultou do produto da metade da largura do estacionamento ($Lr/2$) pelo espaçamento entre bocas de lobo. A Tabela 6 mostra os resultados obtidos para a vazão de contribuição de cada área de drenagem de acordo com os parâmetros das equações citadas.

A distância entre bocas de lobo foi calculada usando-se a Equação 18. A Tabela 7 apresenta os resultados da distância entre bocas de lobo de acordo com os parâmetros da referida equação.

Batista (2017) revela em sua análise realizada em uma quadra bem urbanizada que as bocas de lobo, apesar de bem distribuídas linearmente, precisam estar condizentes com a saturação das sarjetas. Enquanto a distribuição linear diminui conforme as declividades dos perímetros das quadras, a distribuição pelos pontos de saturação apresenta um comportamento oposto, aumentando.

Tabela 6 - Cálculo das vazões contribuintes das subáreas de drenagem

Área de contribuição (m ²)	Período de Retorno (anos)	Tempo de concentração da precipitação (min)	Coefficiente de escoamento superficial (-)	Intensidade de precipitação (mm/min)	Vazão máxima (m ³ /s)
A1 (240m ²)	2	5,90	0,90	2,02	26,18
	5	5,64	0,90	2,25	29,16
	10	5,46	0,90	2,45	31,75
A2 (240m ²)	2	5,90	0,90	2,02	26,18
	5	5,64	0,90	2,25	29,16
	10	5,46	0,90	2,45	31,75
A3 (240m ²)	2	5,90	0,90	2,02	26,18
	5	5,64	0,90	2,25	29,16
	10	5,46	0,90	2,45	31,75

Fonte: Autor (2023)

Lucas (2019) recomenda utilizar valores próximos à vazão máxima na análise, para evitar a instalação de bocas de lobo que capturam vazões significativamente menores do que sua capacidade máxima.

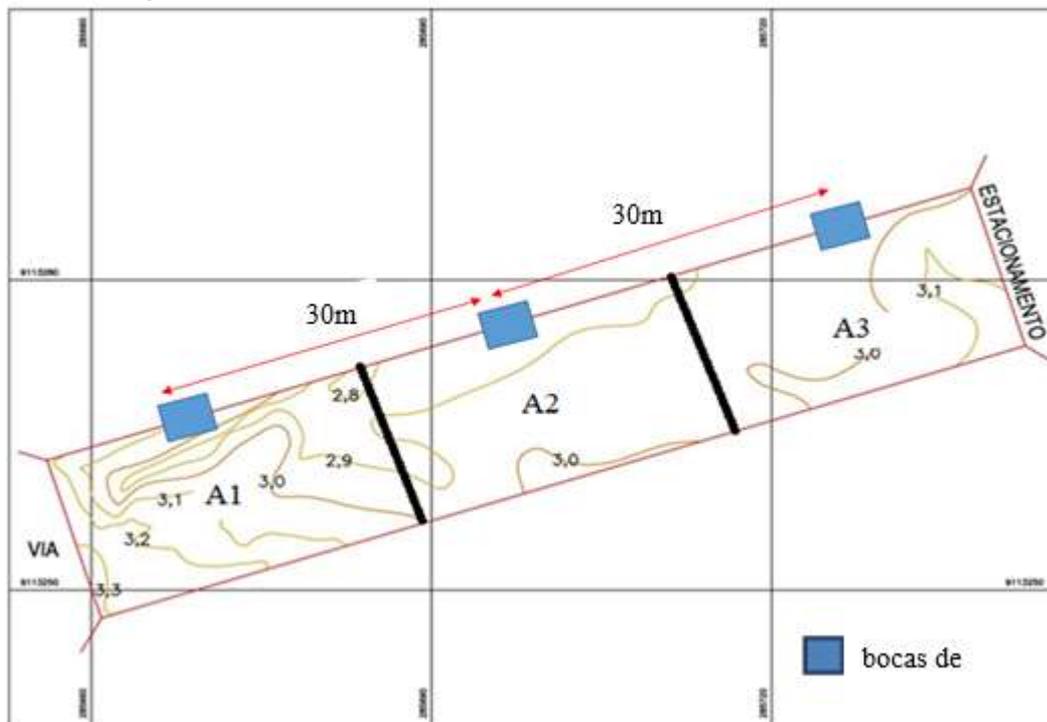
Tabela 7 - Cálculo das distâncias entre bocas de lobo

Área (m ²)	Coefficiente de escoamento superficial	Período de Retorno (Anos)	Vazão máxima (m ³ /s)	Largura do estacionamento (m)	Intensidade de precipitação (mm/min)	Distâncias entre bocas de lobo (m)
A1 (240m ²)	0,90	2	26,18	16,0	2,02	30,00
	0,90	5	29,16	16,0	2,25	30,02
	0,90	10	31,75	16,0	2,45	29,98
A2 (240m ²)	0,90	2	26,18	11,90	2,02	30,00
	0,90	5	29,16	11,98	2,25	30,02
	0,90	10	31,75	11,98	2,45	29,98
A3 (240m ²)	0,90	2	26,18	11,90	2,02	30,00
	0,90	5	29,16	11,98	2,25	30,02
	0,90	10	31,75	11,98	2,45	29,98
Distância média entre bocas de lobo (m)						30,00

Fonte: Autor (2023)

Após a verificação da distância média entre as bocas de lobo segundo o método do SMDU, na Figura 21 mostra-se a configuração final da locação destes dispositivos para o estacionamento do CEAGRI II.

Figura 21 - Distâncias médias entre bocas de lobo conforme o método SMDU



Fonte: Autor (2023)

Zampieri e Pinho (2020) encontram em seus estudos, bocas de lobo que não respeitam a recomendação do distanciamento máximo entre os dispositivos sugeridos pelo Manual de Drenagem de Águas Pluviais da Cidade de São Paulo que, conforme o SMDU (2012), não devendo ultrapassar os 60 metros entre uma boca de lobo e outra subsequente.

Ainda para Zampieri e Pinho (2020), as bocas de lobos verificadas em sua pesquisa, além de serem insuficientes para a área de contribuição do estudo realizado, a distância mínima encontrada foi de 123 metros. Para que estivessem dentro da recomendação, seriam necessárias as instalações de pelo menos 17 novas bocas de lobo, evitando episódios de alagamentos sempre que ocorrer qualquer evento pluviométrico, portanto, não sendo necessário para a área no qual o sistema foi projetado.

França et. al. (2019) explicam que técnicas compensatórias sustentáveis podem ser utilizadas de modo a auxiliar em problemas com alagamentos, porém, caso não sejam bem dimensionadas ou instaladas bocas de lobo suficientes, os problemas com alagamentos serão solucionados parcialmente.

5.2. Método SEMASA

De acordo com Moraes (2015) o procedimento técnico para o dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André teve como objetivo padronizar o dimensionamento da microdrenagem.

Aplicando-se tais procedimentos na área objeto de estudos, verificou-se o cálculo da vazão do escoamento superficial (vias e sarjetas) utilizando o Método de Izzard, por meio da Equação 30:

$$Q_0 = K \cdot \sqrt{S} \quad (30)$$

Onde:

Q_0 – vazão de escoamento superficial (m^3/s)

K – coeficiente de simplificação (m^3/s)

S – declividade longitudinal da guia do estacionamento (m/m)

A largura da via foi admitida como sendo de 10,0 m e o valor do coeficiente de simplificação K igual a 1,795 (Quadro 8). A declividade longitudinal da guia do estacionamento foi determinada a partir dos valores da diferença entre as cotas e a distância entre estas do levantamento topográfico e a altura máxima da água na sarjeta foi tomada como sendo de 0,15m ($h_1 = 0,15m$).

Para o cálculo da vazão da área de contribuição foi utilizado o Método Racional (Equação 27) e foram consideradas as intensidades de precipitação para períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos e os tempos de concentração como sendo de 5,0 min, 10,0 min e de 15,0 min. O quantitativo de dispositivos de boca de lobo projetados foi determinado segundo a Equação 31. O valor referente à capacidade da boca de lobo, segundo Wilken (1978), para um determinado tipo padronizado é igual a 0,060 m^3/s ($Q = 60 l/s$).

$$N_d = \frac{Q_c}{Q_d} \quad (31)$$

Onde:

N_d - nº de dispositivos (adimensional)

Q_c - vazão da área de contribuição (m^3/s)

Q_d - vazão de capacidade do dispositivo (m^3/s)

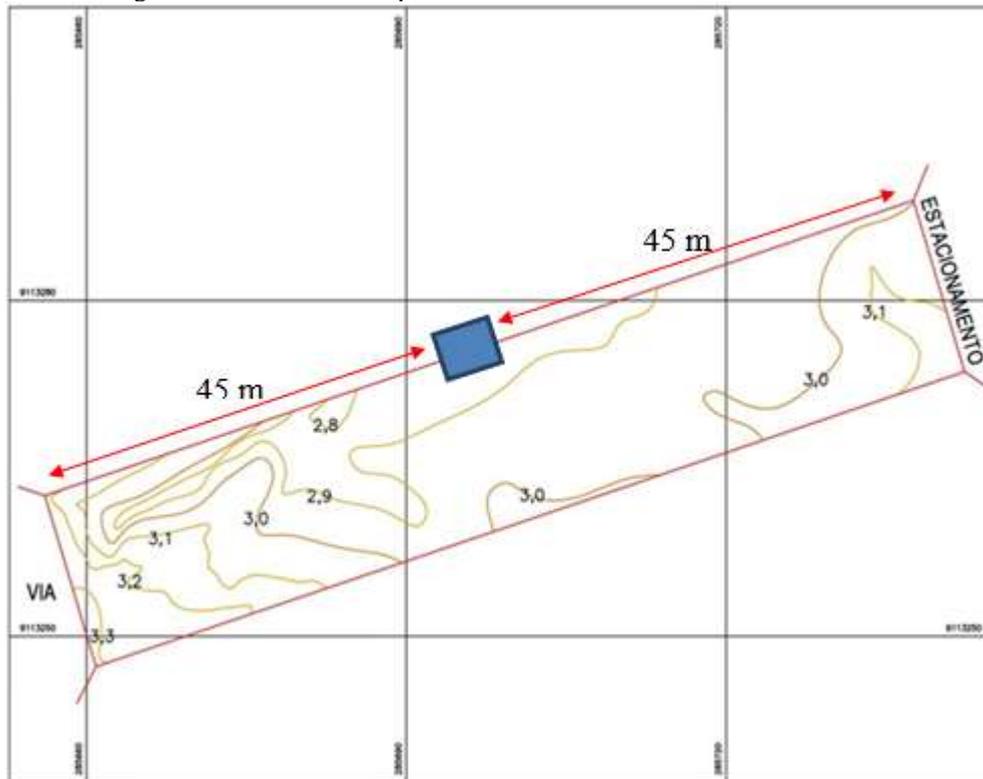
A Tabela 8 apresenta os quantitativos de bocas de lobo de acordo com os parâmetros da equação e na Figura 22 encontra-se a distância média entre bocas de lobo segundo o método do SEMASA para o estacionamento do CEAGRI II.

Tabela 8 - Cálculo do número de dispositivos de acordo com o método SEMASA

Área de drenagem (m^2)	Coefficiente escoamento superficial (-)	Período de Retorno (Anos)	Intensidade de precipitação (mm/hora)	Vazão de contribuição (m^3/s)	Vazão do dispositivo (m^3/s)	Nº de dispositivo (n°)	Nº de dispositivo (n°)
1440	0,90	2	121,20	0,044	0,060	0,73	1,00
	0,90	5	135,33	0,049	0,060	0,82	1,00
	0,90	10	147,10	0,053	0,060	0,88	1,00
Nº de dispositivo							1,00

Fonte: Autor (2023)

Figura 22 - Número de dispositivos de acordo com o método SEMASA



Fonte: Autor (2023)

5.3. Método de Butler & Davies

Segundo Butler & Davies (2004), o projeto de localização das bocas de lobo deve atender um espaçamento que seja suficiente para garantir que a vazão propagada na via pública seja menor que a largura permitida para conforto dos pedestres e tráfego de veículos.

Diante da problemática encontrada na área de estudo, percebe-se a ineficiência da sarjeta na microdrenagem das águas pluviais que se encontram no estacionamento. Portanto, buscou-se calcular a capacidade hidráulica da sarjeta de modo a validar essa ineficiência. O dimensionamento hidráulico foi feito através da Equação de Manning simplificada, considerando a seção como sendo rasa e triangular (Equações 32 e 33).

$$Q = 0,31 \cdot C \cdot y^{8/3} \quad (32)$$

$$C = \frac{z \cdot S^{1/2}}{n} \quad (33)$$

Onde:

Q = vazão na sarjeta (m³/s);

z = declividade transversal (1:z);

S = declividade longitudinal (m/m);

n = coeficiente de rugosidade de Manning;

y = altura da lâmina de água na sarjeta (m).

O cálculo do espaçamento entre as bocas de lobo seguiu a metodologia proposta por Butler e Davies (2004), que considera que esse espaçamento seja tal que garanta que a vazão escoada na via pública seja menor que a largura máxima de inundação permitida e pode ser expressa na Equação 24.

O tempo de concentração foi determinado com a Equação 3 por tentativa e erro, tendo sido arbitrado inicialmente um tempo de 5 minutos, que se refere ao tempo mínimo de concentração em áreas urbanas e, posteriormente, foram calculados para os tempos de 10 min e 15 min. De acordo com Tomaz (20019), em áreas urbanizadas o primeiro ponto para se calcular o tempo de concentração deve ser tal que não possa exceder o tempo de concentração máximo, de acordo com a Equação 4.

No cálculo das intensidades de precipitações e de vazões máximas foram usados diferentes períodos de retorno 2, 5 e 10 anos para os cálculos. Como a área do estacionamento possui superfície pavimentada em asfalto, o valor adotado para o coeficiente de escoamento superficial foi de 0,90. Os resultados estão expressos na Tabela 9.

Tabela 9 - Tempo de concentração, Intensidade de precipitação e vazão máxima

Período de Retorno (anos)	Tempo concentração (min)	Tempo máximo (min)	Intensidade de precipitação (mm/h)	Vazão máxima (m ³ /s)
2	5,89	11,98	121,18	0,079
5	5,64	11,98	135,32	0,089
10	5,45	11,98	147,08	0,096

Fonte: Autor (2023)

Para comprovar a necessidade das bocas de lobo, avaliou-se a vazão suportada pelas sarjetas. Para isso, considerou-se que a água escoar por toda a calha na guia do pavimento do estacionamento, com declividade longitudinal de 3% e altura da sarjeta de 15cm, seguindo os padrões normais de via pública.

Conforme recomendação de Tomaz (2019), foi aplicado um fator de redução de 0,8 na vazão teórica calculada em virtude de obstruções que podem vir a ocorrer devido à presença de sedimentos, lixos e outros. Para os períodos de retorno de 2, 5 e 10 anos a vazão teórica calculada para a sarjeta foi de 0,029 m³/s, enquanto a vazão na sarjeta com redução foi de 0,023 m³/s. Tais valores confirmam a necessidade da instalação de bocas de lobo no local.

Após a comprovação da ineficiência apenas das sarjetas na condução das águas pluviais da área do estacionamento, dimensionou-se a quantidade de bocas de lobo necessárias para atender a vazão máxima. Na área em estudo, considerou-se como a vazão de captação/drenagem aquela correspondente à vazão de projeto, calculada através do Método Racional. Os valores de espaçamento entre dispositivos de bocas de lobo encontrados, foram arredondados para o número inteiro mais próximo. Os valores obtidos de espaçamento entre bocas de lobo podem ser observados na Tabela 10.

Tabela 10 - Distância entre bocas de lobo de acordo com o método Butler & Davies (2004).

Período de Retorno (anos)	Quantidade de bocas de lobo	Espaçamento entre bocas de lobo
2	2	42,46
5	2	38,02
10	2	34,98

Fonte: Autor (2023)

Para os diferentes tempos de retorno adotados no dimensionamento, o número de bocas de lobo necessários para atender a capacidade de captação do dispositivo no estacionamento do CEAGRI II, se manteve. Portanto, a locação das bocas de lobo seguiu o mesmo critério, optando-se por localizar as duas ao longo da guia do estacionamento de maneira que o espaçamento central entre as bocas de lobo fossem o espaçamento obtido nos cálculos representados na Tabela 10. O desenho esquemático pode ser verificado nas Figuras (23), (24) e (25).

Figura 23 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (T_r) de 2 anos



Fonte: Google Earth (acesso em 28 out. 2021) adaptado pelo autor (2023)

Figura 24 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (T_r) de 5 anos



Fonte: Google Earth (acesso em 28 out. 2021) adaptado pelo autor (2023).

Figura 25 - Espaçamento entre bocas de lobo para um Período de retorno (T_r) de 10 anos



Fonte: Google Earth (acesso em 28 out. 2021) adaptado pelo autor (2023).

6. CONCLUSÕES

O estudo realizado no estacionamento do Edifício Prof. Vasconcelos Sobrinho (CEAGRI II) na Universidade Federal Rural de Pernambuco apresentou uma análise sobre a drenagem das águas pluviais nessa área específica. Através da aplicação de diferentes metodologias, foi possível determinar o posicionamento adequado das bocas de lobo e compreender melhor o comportamento hidrológico do local.

A área do estacionamento não apresentou um sistema de drenagem adequado, onde não existem bocas de lobo ou galerias pluviais, havendo apenas drenos que transportam o escoamento de águas pluviais para uma área adjacente ao estacionamento, no entanto, apenas estes dispositivos não são suficientes para drenar o volume de precipitação ao qual o local recebe levando em consideração o regime de chuvas da região.

A divisão do estacionamento em subáreas permitiu um cálculo preciso das vazões de contribuição em cada uma delas. As intensidades máximas de precipitação foram estimadas considerando diferentes tempos de retorno e tempos de duração da chuva. Com base nessas informações, foi possível dimensionar as bocas de lobo de acordo com as características do escoamento superficial e garantir uma drenagem mais eficiente.

A análise das vazões de contribuição proporcionou uma visão abrangente sobre os pontos críticos no escoamento das águas pluviais, identificando áreas de maior acumulação e possíveis problemas de alagamento. Esses dados são essenciais para o planejamento de intervenções adequadas, visando minimizar os impactos negativos e melhorar a eficiência da drenagem urbana no estacionamento.

Após análise realizada com base nos três métodos aplicados para dimensionamento e posicionamento das bocas de lobo no local, todos os métodos possuem resultados positivos considerando a inexistência de dispositivos de microdrenagem na área do estacionamento, no entanto, o método SMDU se sobressai quando comparado com os demais devido a ofertar um maior número de dispositivos de bocas de lobo, seguidos dos métodos de Buttler e Davies e por último, o método SEMASA.

A partir do método SMDU, a distribuição das bocas de lobo ao longo do perfil longitudinal do estacionamento permite que o local apresente poucos pontos de alagamentos devido ao espaçamento entre elas de tal maneira que não haja sobrecarga em nenhum dos dispositivos, o que implica dizer no sucesso do sistema de microdrenagem urbana.

A conclusão do estudo ressalta a importância de uma abordagem técnica e precisa no dimensionamento e posicionamento das bocas de lobo, levando em consideração as particularidades do terreno e a capacidade de escoamento. Com base nos resultados obtidos, espera-se reduzir os problemas de alagamento e melhorar a utilização do estacionamento, garantindo maior conforto e segurança aos usuários.

Essa pesquisa contribui para o avanço do conhecimento na área de drenagem urbana, oferecendo diretrizes e metodologias aplicáveis não apenas ao estacionamento em estudo, mas também a outros projetos semelhantes. Através do melhor entendimento do comportamento hidrológico e da aplicação de técnicas adequadas, é possível promover uma gestão mais eficiente das águas pluviais, tornando as cidades mais resilientes e sustentáveis diante dos desafios relacionados às enchentes e alagamentos.

Todavia, tornam-se necessários estudos ainda mais aprofundados e aplicados em áreas reais com maiores dimensões cuja necessidade de resolução seja imediata, visto que, mediante o crescimento e ocupação não planejada, eventos com inundações e alagamentos estão cada vez mais frequentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M.C. Desempenho de métodos de desagregação de chuvas intensas. 2018. Tese (Doutorado em Meteorologia Aplicada) - Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa-MG, 2018.

ALVES, P. L.; FORMIGA, K. T. M. **Efeitos da arborização urbana na redução do escoamento pluvial superficial e no atraso do pico de vazão.** UFM. Ci. Fl., Santa Maria, v. 29, n. 1, p. 193-207, jan/mar., 2019.

BATISTA, J. A. N. 2019 Avaliação do desempenho da distribuição de bocas de lobo com base na curva de saturação da sarjeta. Rev. DAE, v. 67, n. 216, p. 125-131, 2019.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. (2005). Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana. Primeira Edição. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, Porto Alegre, 266p.

BARREIRO, C.H. Tópicos sobre observação de drenagem superficial de vias urbanas. 1997. Dissertação (Mestrado em Transportes) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP, 1997.

BIDONE, F. R. A; TUCCI, C. E. M. Microdrenagem. In: TUCCI, C. E. M. ; PORTO, L. Rubem; BASTOS, T. Mário. Drenagem Urbana. 1 ed., ABRH, Porto Alegre, RS, 2015.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Brasília-DF, 5 jan. 2007. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 8 abr. 2023.

BRASIL. Ministério das Cidades; IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2007) Mapeamento de riscos em encostas e margem de rios Ministério das Cidades e IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Brasília, 2007.

BUTLER, David; DAVIES, John W. Urban drainage. 2 ed. Londres: Spon Press, 2004. 543 p.

CABRAL, L. N., & CÂNDIDO, G. A. (2019). **Urbanização, vulnerabilidade, resiliência: relações conceituais e compreensões de causa e efeito.** urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, 11, e20180063. <https://doi.org/10.1590/2175-3369.011.002.AO08>.

CANHOLI, A. Drenagem urbana e controle de enchentes. Oficina de textos, 2015. Carvalho, C.S., Macedo, E.S., & Ogura, A. T. (2007). Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: Ministério das Cidades/ IPT.

CARVALHO, C.S.; MACEDO, E.S.; OGURA, A. T. (2007). Mapeamento de Riscos em Encostas e Margem de Rios. Brasília: Ministério das Cidades/ IPT.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Drenagem urbana: manual de projetos. São Paulo-SP: São Paulo-SP, 1986.

CHRISTOFIDIS, H.V. Drenagem Urbana Sustentável - Análise do uso do Retrovit. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Brasília (UnB), Brasília-DF, 2010.

COELHO, M.M.L.P.; LIMA, J.G.A. Eficiência Hidráulica de Bocas de Lobo situadas em Sarjetas de Greide Contínuo. In: RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 2010, RBRH, 2011. Nº 2, Vol. 16, 133-143.

COUTINHO, A. P., LASSABATÈRE, L. MONTENEGRO, S., ANTONINO, C. D. A., ANGULO-JARAMILLO, R., CABRAL, J. J. S. P. Hydraulic characterization and hydrological behavior of a pilot permeable pavement in an urban center, Brazil: Hydrological behavior of a permeable pavement in an urban center. *Hydrological Processes*, v. 30, 4242– 4254, 2016.

CSOBI, A. Amortecimento superficial nos sistemas de microdrenagem em regiões em regiões de baixa declividade. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP, 2011.

DEVI, N.N., SRIDHARAN, B., & KUIRY, S.N. (2019). Impact of urban sprawl on future flooding in Chennai city, India. *Journal of Hydrology*, 574, 486-496.

DNIT - DEPARAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA E TRANSPORTE. Norma DNIT 018/2006 – ES – Drenagem – Sarjetas e Valetas. Rio de Janeiro-RJ: DNIT, 2006.

EMLURB - PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE. Plano Diretor de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais da Cidade de Recife. [S.l.]: [s.n.], 2015.

FRANÇA, E. F. et al. Sistema de drenagem complementar com estudo comparativo de métodos para a Avenida Santos Dumont, Criciúma, SC– Estudo de caso. **Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 3, 2019.

FARIAS, A. S. Inundações urbanas em Francisco Beltrão/PR: riscos e vulnerabilidades socioambientais (Curitiba/PR). Tese (Meio Ambiente e Desenvolvimento). 2019. 273 f. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

FÁTIMA, M. Impactos da drenagem urbana na saúde pública em municípios de pequeno porte no estado do Rio Grande do Norte, Nordeste do Brasil. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, 2013.

FATTORI, G.F; BENETTI, A.D. O impacto do modelo de cálculo na capacidade de descarga em sistema de drenagem urbana. In: 2º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES, São Paulo-SP, 2000.

FUCHS, B.E. Desenvolvimento de um sistema de cálculo automatizado para projetos em drenagem urbana. 2011. Dissertação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Florianópolis-SC, 2011.

MEDEIROS, R. M. de, E. P. Cavalcanti and Jaqueline Fernandes de Medeiros Duarte. "CLASSIFICAÇÃO CLIMÁTICA DE KÖPPEN PARA O ESTADO DO PIAUÍ – BRASIL". **Revista de Geografia (Recife)**. 2018, v. 35, n. 3, 2018.

MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P.; REZENDE, O. M.; **Drenagem Urbana: do Projeto Tradicional à Sustentabilidade** – 1 ed. – Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

MINISTÉRIO DAS CIDADES / INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS – IPT – Mapeamento de riscos em encostas e margens de rios. Brasília: Ministério das Cidades; Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 2007. 176 p

MORAES, A. P. Procedimentos técnicos de dimensionamento da microdrenagem do município de Santo André. In: Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, 19ª. Poços de Caldas, MG: ASSEMAE, Brasília, 2015.

NYLANDER, J. D. A.; BARROS, A. J. A.; MESQUITA, K. F. C.; BEZERRA, G. C. M.; PEREIRA, J. A. R. Análise das causas e consequências de inundações e alagamentos na bacia hidrográfica da tamandaré do município de belém/PA / Analysis of the causes and consequences of floods and flooding in the tamandaré watershed in the municipality of belém/PA. **Brazilian Journal of Development**, [S. l.], v. 7, n. 5, p. 49335–49348, 2021. DOI: 10.34117/bjdv.v7i5.29920. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/29920>. Acesso em: 19 jun. 2023.

OLIVEIRA, A. D. N. et al. Padrões urbanos facilitadores da recarga de aquíferos. *Revista de Morfologia Urbana*, 2019.

PFAFSTETTER, O. Chuvas intensas no Brasil. Brasília: Departamento Nacional de Obras e Saneamento, 1957.

PORTO, R.; ZAHHEL, F. K; TUCCI, C.; BIDONE, F. Drenagem Urbana. In: Hidrologia: ciência e aplicação. TUCCI, C. E. M. (org.). Porto Alegre-RS: Ed. da Universidade, ABRH, EDUSP, 1993.

PIMENTEL, P. G. Análise dos sistemas de drenagem das águas pluviais e proposta de soluções para regiões críticas de alagamentos na cidade do Rio de Janeiro. 2021. 245 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021.

ZAMPIERI, J. N. F.; PINHO, P. A. B.. Gestão de águas pluviais: um diagnóstico dos dispositivos de microdrenagem da avenida ministro João Alberto na cidade de Aragarças - GO. *Interfaces do Conhecimento*, v. 2, n. 1, 2020.

RAMOS, C. L. Diretrizes Básicas para Projetos de Drenagem Urbana no Município de São Paulo. Lillian Satiko Murata. Ed, São Paulo: [s.n.],1999. 285 p.. Acesso em: 16 de abr. 2023.

RIO-ÁGUAS; PORTARIA O/SUB RIO-ÁGUAS Nº 004/2010; Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana; Rio de Janeiro, 2010.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. Análise Hidrológica em Bacias Hidrográficas. Mercator, v. 17, 2018a.

RODRIGUES, N. M., RODRIGUES, C. E. F., & RODRIGUES, C. R. (2022). A falta de drenagem urbana nas cidades brasileiras, Research, Society and Development, [S. l.], 11(6), e54911629652.

SANTOS, J. S.; CARVALHO, S. M. Ocorrências de alagamentos e enchentes na bacia do arroio da Ronda em Ponta Grossa, PR, Brasil. Terra Plural, v. 15. p. 1-17, 2021. Disponível em: <https://revistas2.uepg.br/index.php/tp/articulo/view/15390>. Acesso em: 18 mar. 2023.

SÃO PAULO (cidade). Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano (SMDU). Manual de drenagem e manejo de águas pluviais. São Paulo - SP: SMDU, 2012.

SERRÃO, E. A. D. O. Aplicação do modelo SWAT na simulação hidrológica da bacia hidrográfica do rio Itacaiúnas-PA. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) Universidade Federal de Campina Grande - UFCG. Campina Grande, PB. 2018.

SILVA, A. L. C. Estudo do balanço hídrico na bacia do Rio Pajeú utilizando o modelo SWMM. 2019. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019.

SILVA, R. S. *et al.* **Análise dos efeitos de um evento extremo de chuva sobre o escoamento superficial em uma pequena bacia hidrográfica rural amazônica.** *Revista brasileira de climatologia*, [s.l.], v. 26, mar. 2020. Issn 2237-8642. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/65246>>. Acesso em: 25 jun. 2021.

SUDERHSA. (2002). Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Manual de Drenagem Urbana da Região Metropolitana de Curitiba-PR. 2002. Paraná, 1. Disponível em <http://www.aguasparana.pr.gov.br/arquivos/File/pddrenagem/volume1/SUD0101RP_WR004_FI.pdf>. Acesso em 1 jun. 2023.

TECEDOR, N.; BARBASSA, A. P.; SILVA, L. F. B.; FELIPE, M. C.. Tecnologias compensatórias em drenagem urbana aplicadas no campus da UFSCAR. In: V Simpósio de Tecnologia em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2013. Jahú-SP. Tecnologias compensatórias em drenagem urbana aplicadas no campus da UFSCAR, 2013.

TOMAZ, P. (2019). Curso de Manejo de Águas Pluviais. São Paulo, SP. Disponível Acesso Agosto de 2019.

OLIVEIRA, V. S. M. Dimensionamento De Canal Utilizando Como Modelo Chuva Vazão O Método Santa Bárbara. Universidade Federal De Campina Grande – UFCG. TCC – Pombal/PB, 2021.

TOMINAGA, E. N. S. Urbanização e Cheias: Medidas de Controle na Fonte. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP, 2013.

TUCCI, C. E. (2016). Regulamentação da drenagem urbana no Brasil. *Revista de Gestão de Água da América Latina*, 13(1), 29-42.

TUCCI, C. E. M. (Org). **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH, 2012.

VESTENA, L.R., ALMEIDA, D.E.F., & GEFFER, E. (2020). Análise espacial e temporal da distribuição dos alagamentos e inundações na cidade de Guarapuava, Paraná. *Brazilian Journal of Development*. Curitiba, 6(5), 24923-24941.

VIEIRA, L. Aplicação de modelos hidrológicos com SIG em obras civis lineares. 2015. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) - Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, 2015.

WILKEN, P.S. Engenharia de drenagem superficial. São Paulo: CETESB, 1978.