

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CURSO BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

VITÓRIA PEREIRA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E DE VANTAGENS DE IMPLANTAÇÃO
DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO INTRALOTE EM REDE DE DRENAGEM DE
LOTEAMENTO**

Jataí
2022



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Vitória Pereira Silva

Matrícula: 20181020260182

Título do Trabalho: Estudo de Viabilidade Técnica e de Vantagens de Implantação de Poços de Infiltração Intralote em Rede de Drenagem de Loteamento

Autorização - Marque uma das opções

1. (☒) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. (☐) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. (☐) Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- (☐) O documento está sujeito a registro de patente.
(☐) O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
(☐) Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

_____, Jataí _____, 04 / 07 / 2023.
Local Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

VITÓRIA PEREIRA SILVA

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E DE VANTAGENS DE IMPLANTAÇÃO
DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO INTRALOTE EM REDE DE DRENAGEM DE
LOTEAMENTO**

Trabalho apresentado ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^a Dr.^a Marina Malagoli

Coorientador: Prof. Me. Vitor Freitas Gonçalves

Jataí
2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Silva, Vitória Pereira.

Estudo de viabilidade técnica e de vantagens de implantação de poços de infiltração intralote em rede de drenagem de loteamento [manuscrito] / Vitória Pereira Silva. -- Jataí: IFG, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, 2022.

84 f.; il.

Orientadora: Prof^a. Dra. Marina Augusta Malagoli de Almeida.

Coorientador: Prof. Me. Vitor Freitas Gonçalves.

Bibliografias.

1. Drenagem pluvial. 2. Sustentabilidade. 3. Urbanização. I. Almeida, Marina Augusta Malagoli. II. Gonçalves, Vitor Freitas. III. IFG, Câmpus Jataí. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Téc.: Aquisição e Tratamento da Informação.
Bibliotecária – Rosy Cristina O. Barbosa – CRB 1/2380 – C. Jataí. Cód. F030/2023-1.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS JATAÍ

Folha de Aprovação

VITÓRIA PEREIRA DA SILVA

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA E DE VANTAGENS DE IMPLANTAÇÃO DE POÇOS DE INFILTRAÇÃO INTRALOTE EM REDE DE DRENAGEM DE LOTEAMENTO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso Bacharelado em Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Jataí, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 16 de Dezembro de 2022, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Ma. Marina Augusta Malagoli de Almeida
Presidente da banca / Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Prof. Me. Vítor Freitas Gonçalves
Co-Orientador
Centro Universitário UNA – Jataí - GO

Prof^ª. Ma. Débora de Lima Braga
Membro Interno
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Ma. Débora Pereira da Silva
Membro Externo
Visualize Engenharia e Projetos LTDA.

Jataí - GO
2022

Documento assinado eletronicamente por:

- Debora de Lima Braga, PROF ENS BAS TEC TECNOLOGICO-SUBSTITUTO, em 20/12/2022 06:50:16.
- Vitor Freitas Gonçalves, Vitor Freitas Gonçalves - 2321 - PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO - Ifg - Câmpus Jataí (10870883000306), em 19/12/2022 21:24:10.
- Débora Pereira da Silva, Débora Pereira da Silva - 214205 - Engenheiro civil - Visualize Engenharia e Projetos Ltda (41703167000104), em 19/12/2022 17:08:25.
- Marina Augusta Malagoli de Almeida, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/12/2022 14:56:26.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 04/12/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 352084

Código de Autenticação: 4510081078



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Av. Presidente Juscelino Kubitschek, nº 775, Residencial Flamboyant, JATAÍ / GO, CEP 75804-714
(64) 3605-0837 (ramal: 837)

RESUMO

O crescimento urbano sem o devido planejamento traz impactos negativos para o sistema natural de drenagem urbana e para o ciclo hidrológico, pois o mesmo propicia a impermeabilização da cobertura natural, impedindo a infiltração das águas pluviais no solo. A drenagem urbana convencional não tem tido um bom desempenho dado que visa apenas a transferência dos impactos de montante para jusante, sem o devido tratamento. Desta forma, a drenagem urbana sustentável visa, principalmente, a redução do escoamento superficial, o qual acontece, principalmente, por medidas de controle na fonte por meio da infiltração do excesso do escoamento pluvial, proporcionando melhorias na qualidade das águas infiltradas e a implantação dos dispositivos com baixo impacto ambiental. Este trabalho tem por objetivo desenvolver uma análise comparativa entre os dois sistemas de drenagem urbana, sendo o convencional e o sustentável, analisando a vazão, eficiência e viabilidade técnica de ambos. Para isto, foi realizado o projeto e dimensionamento dos sistemas de drenagem citados, delimitando as áreas de contribuição de acordo com a topografia e para um segundo momento realizando o redimensionamento da rede considerando a implantação dos dispositivos de infiltração a fim de realizar a comparação. O sistema de drenagem convencional totalizou 43 bocas de lobo com uma redução de 9% desse número para o sistema de drenagem sustentável. Com quantitativos semelhantes, ambos os projetos são viáveis tecnicamente, destacando-se os benefícios ambientais e o valor estético agregado às áreas urbanas pelo sistema sustentável.

Palavras-Chave: Drenagem Pluvial; Sustentabilidade; Urbanização.

ABSTRACT

Urban growth without proper planning brings negative impacts to the natural urban drainage system and to the hydrological cycle, as it provides the impermeabilization of the natural surface, preventing the infiltration of rainwater into the soil. Conventional urban drainage has not performed well, because it aims only to transfer the impacts from upstream to downstream without proper treatment. In this way, sustainable urban drainage aims mainly at reducing surface runoff, which happens principally through control measures at the source through the infiltration of excess rainwater runoff, providing improvements in the quality of infiltrated water and the implementation of devices with low environmental impact. This work aims to develop a comparative analysis between the two urban drainage systems, the conventional and the sustainable one, analyzing the flow, efficiency and technical feasibility of both. For this, the project and dimensioning of the mentioned drainage systems was carried out, delimiting the contribution areas according to the topography and for a second moment carrying out the resizing of the network considering the implantation of the infiltration devices in order to carry out the comparison. The conventional drainage system totaled 43 storm drains with a 9% reduction for the sustainable drainage system. With similar quantities, both projects are technically feasible, highlighting the environmental benefits and the aesthetic value added to urban areas by the sustainable system.

Keywords: Rain Drainage; Sustainability; Urbanization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Implementação de jardins de chuva em Goiânia - GO	14
Figura 2 - Áreas Urbanizadas no Brasil.....	17
Figura 3 - Áreas Urbanizadas do Brasil (2015)	18
Figura 4 - Áreas Urbanizadas 2019	20
Figura 5 - Ciclo Hidrológico.....	26
Figura 6 - Representação gráfica do “Tempo de Concentração” ao exutório (ponto P_x).....	28
Figura 7 - Relações de infiltração e escoamento para diferentes tipos de solo	29
Figura 8 - Representação de meio fio e sarjetas	33
Figura 9 - Tipos de Bocas de Lobo.....	35
Figura 10 - Locação de elementos de captação	37
Figura 11 - Representação de Galeria.....	37
Figura 12 - Efeitos de retenção a jusante de enchentes.....	41
Figura 13 - Detalhamento de uma trincheira de infiltração	42
Figura 14 - Corte Transversal de uma trincheira de infiltração	43
Figura 15 - Corte longitudinal de uma trincheira de infiltração.	43
Figura 16 - Representação de Pavimentos Porosos	45
Figura 17 - Representação de Pavimentos Permeáveis (Pisograma).....	45
Figura 18 - Reservatório de Detenção	46
Figura 19 - Localização do setor Parque Brito	57
Figura 20 - Representação das curvas de nível do projeto em estudo	58
Figura 21 - Delimitação das Áreas de Contribuição.....	59
Figura 22 - Representação do posicionamento dos Poços de Visita e traçado das galerias.....	61
Figura 23 - Modelo de Boca de Lobo Simples	51
Figura 24 - Planta de Boca de Lobo Simples.....	52
Figura 25 - Corte AA' da Boca de Lobo Simples	52
Figura 26 - Altura da Sarjeta.....	62
Figura 27 - Posicionamento das Bocas e Lobo.....	63
Figura 28 - Modelo de Calçada	55
Figura 29 - Planta baixa do detalhamento de um poço de infiltração.....	47
Figura 30 - Corte do detalhamento do poço de infiltração	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Retornos para diferentes ocupações de área	27
Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento (C) para diferentes coberturas do solo em áreas urbanas.....	30
Tabela 3 - Fatores de redução da vazão de cálculo das sarjetas.....	34
Tabela 4 - Fatores de redução de escoamento para bocas de lobo (coeficientes de segurança)	36
Tabela 5 - Conceito de canalização x Conceito de reservação	40
Tabela 6 - Áreas de Contribuição do Projeto de Drenagem Urbana Convencional.....	60
Tabela 7 - Dimensionamento de Bocas de Lobo e dos tubos de ligação	64
Tabela 8 - Dimensionamento da Rede	65
Tabela 9 - Áreas consideradas no dimensionamento	67
Tabela 10 - Absorção Relativa do Solo	68
Tabela 11 - Dados utilizados para o cálculo da Área de Infiltração	69
Tabela 12 - Dimensionamento Bocas de Lobo	70
Tabela 13 - Dimensionamento rede de drenagem.....	71
Tabela 14 - Comparativo entre as vazões dos dois tipos de projeto	73
Tabela 15 - Comparação dos Diâmetros da Rede	74
Tabela 16 - Comparativo dos volumes infiltrados do sistema convencional e sustentável	75

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO	10
1.1.1 JUSTIFICATIVA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
2.1 PROCESSO HISTÓRICO DE URBANIZAÇÃO	16
2.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO	21
2.3 PLANEJAMENTO URBANO	23
2.4 CICLO HIDROLÓGICO.....	25
2.5 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS.....	27
2.5.1 Tempo de retorno ou recorrência	27
2.5.2 Tempo de Concentração	27
2.5.3 Intensidade Pluviométrica	28
2.5.4 Coeficiente de Escoamento Superficial.....	29
2.5.5 Vazão.....	30
2.6 MÉTODO RACIONAL DE DIMENSIONAMENTO	31
2.7 DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL	31
2.8 INFRAESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM CONVENCIONAL . 322.8.1 Sarjetas e Sarjetões	33
2.8.2 Bocas de Lobo	34
2.8.3 Tubos de Ligação	36
2.8.4 Caixas de Ligação	36
2.8.5 Poços de Visita	36
2.8.6 Galerias.....	37
2.9 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL.....	38
2.10 INFRAESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL . 412.10.1 Trincheiras de Infiltração	41
2.10.2 Pavimentos Porosos ou Permeáveis	44
2.10.3 Reservatório de Detenção Aberto.....	46
2.10.4 Poços de Infiltração	47
CAPÍTULO 3 METODOLOGIA	49

	11
3.1 PROJETO DE REDE CONVENCIONAL DE DRENAGEM.....	49
3.1.1 Área de Estudo	49
3.1.2 Parâmetros Hidrológicos	49
3.1.3 Delimitação das áreas de contribuição	50
3.1.4 Locação dos poços de visita e galerias.....	50
3.1.5 Bocas de lobo	51
3.1.6 Dimensionamento da rede de drenagem	53
3.2 PROJETO DE REDE sustentável DE DRENAGEM.....	54
3.2.1 Poços de infiltração	56
CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS.....	57
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	57
4.2 Projeto de Rede de Drenagem Convencional	57
4.2.1 Área de Contribuição	57
4.2.2 Locação dos Poços de Visitas e Galerias	60
4.2.3 Dimensionamento de Bocas de Lobo e Rede de Drenagem	61
4.3 Projeto de Rede sustentável de DRENAGEM.....	66
4.3.1 Poços de Infiltração	66
CAPÍTULO 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	72
CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
ANEXO A – PROJETO DE DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL	
ANEXO B – PROJETO DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL	

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO

A ocorrência da expansão urbana trouxe consequências na drenagem das bacias urbanas, principalmente alterações no escoamento superficial. Essas implicações provêm, sobretudo, pela forma como a ocupação se desenvolve. De modo geral, realizada sem o devido planejamento e sem o controle do uso do solo, o que muitas vezes leva à ocupação de áreas com risco de inundação e escorregamento, além do desenvolvimento de sistemas inadequados de saneamento (SILVEIRA; ZANANDREA, 2019).

A ocupação irresponsável e a ausência de um planejamento urbano transformaram os centros urbanos em áreas com altas densidades populacionais, ocasionando efeitos negativos, principalmente sobre os sistemas de drenagem natural da água (BASTOS, 2009). Com o crescimento dos centros urbanos, a permeabilidade do solo é reduzida de forma que surge a necessidade de um sistema de drenagem para o escoamento das águas pluviais. Porém, o sistema de drenagem urbana convencional não tem demonstrado um bom desempenho, segundo Tucci e Collischonn (1988).

Conforme os autores supracitados, a drenagem urbana foi desenvolvida dentro de premissas estruturais onde os impactos são transferidos de montante para jusante sem nenhum controle de suas fontes. Yazaki, Montenegro e Costa (2018) dizem que da mesma forma que o processo de urbanização, o sistema de drenagem convencional também traz impactos para o ciclo hidrológico, tais como: o aumento do escoamento superficial; o aumento da velocidade de escoamento nas galerias pluviais, tendo vazões maiores em tempos mais curtos; a redução da infiltração no solo, prejudicando o nível do lençol freático; e, devido à redução da cobertura natural, a redução da umidade do ar.

Com o intuito de minimizar os impactos ambientais causados pela drenagem urbana convencional, vêm sendo estudadas e aplicadas alternativas no âmbito sustentável a fim de alcançar um sistema drenante completo, eficaz e com poucos impactos ambientais. Assim surge a drenagem urbana sustentável, que busca imitar o ciclo hidrológico natural (ANTUNES; DIAS, 2010).

Os sistemas de drenagem de águas superficiais, desenvolvidos conforme os ideais de desenvolvimento sustentável, são denominados de sistemas de drenagem sustentável (SuDS), os quais, são projetados tanto para gerenciar os riscos ambientais provenientes do escoamento urbano, quanto para contribuir com melhorias ambientais. Portanto, o intuito

destes sistemas, é minimizar os impactos quanti-qualitativos do desenvolvimento do escoamento e potencializar as possibilidades de amenidade e biodiversidade (CIRIA, 2007).

Segundo Antunes e Dias (2010), os SuDS visam novas técnicas com a finalidade de amortecer as vazões de pico, atenuar a concentração de poluentes das águas de chuvas em áreas urbanas, evitando-se assim as enchentes, os processos erosivos e a perda da capacidade dos mananciais subterrâneos.

Segundo Righetto, Moreira e Sales (2009), o propósito de um sistema urbano sustentável está relacionado com o ambiente natural saudável e livre de agentes poluidores, oferecendo melhorias das condições de saúde, economia de recursos humanos e financeiros utilizados na manutenção do sistema.

Dessa forma, tanto o processo de urbanização quanto o controle do uso do solo urbano devem ser considerados de modo que minimizem os impactos hidrológicos. (REZENDE, MIGUEZ E VERÓL, 2013).

É imprescindível compreender que o manejo das águas pluviais urbanas não se limita apenas à drenagem da água convencional, o qual propicia o escoamento destas águas dos pontos críticos e o lançamento nos cursos d'água, mas visa demais questões que agregam conjuntos de ações e soluções estruturais e não estruturais, envolvendo o planejamento e a gestão da ocupação do espaço urbano, com legislações e fiscalizações eficientes provenientes do escoamento superficial devido à ocupação do solo, bem como, execuções de obras. (RIGHETTO, MOREIRA E SALES, 2009).

O objetivo da concepção desses sistemas de manejo de águas pluviais é destinado a reduzir os efeitos da urbanização, tanto na quantidade quanto na qualidade da água escoada, aumentando o armazenamento, reduzindo o lançamento de deflúvios e da carga da poluição difusa. Com esse intuito, esses sistemas compreendem medidas que estabelecem soluções práticas para o impasse de deflúvios (RIGHETTO, 2009).

Como exemplo de aplicação bem sucedida de SuDS, podemos citar a cidade de Goiânia – GO, na qual a prefeitura investiu na construção de obras de infraestrutura específicas, para minimizar problemas de inundações recorrentes em diversos pontos da cidade, dentre eles, no Setor Universitário, nas proximidades do Córrego Botafogo, construindo 9 jardins de chuva nessa localidade, que simplesmente são áreas permeáveis,

com o intuito de amenizar os transtornos dos períodos de chuva (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2019). A Figura 1 apresenta a implantação de um jardim de chuva na cidade de Goiânia – GO.

Figura 1 - Implantação de jardins de chuva em Goiânia - GO



Fonte: MEIRA (2019). Disponível em: <<https://o hoje.com/noticia/cidades/n/161875/t/prefeitura-de-goiania-constroi-12-estruturas-para-escoamento-de-agua/>>

O objetivo destas alternativas sustentáveis para Goiânia – GO é chegar a implementar 350 jardins de chuva em toda a cidade proporcionando, a fim de melhorar a permeabilidade do solo em áreas de grande adensamento, além de melhorar a qualidade do ar e colaborar com o paisagismo da cidade (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2019).

1.1.1 JUSTIFICATIVA

Tendo em vista o exposto acima, este trabalho propõe avaliar a viabilidade técnica de um sistema de drenagem sustentável que permite solucionar os problemas advindos da urbanização e da eventual ineficácia dos sistemas de drenagem urbana convencional. Para tanto, esta pesquisa foi desenvolvida por meio de comparativos entre os projetos de um sistema de drenagem urbana convencional e um SuDS, no que se refere à viabilidade técnica e ao desempenho.

1.2 OBJETIVOS

A seguir são apresentados os objetivos geral e específicos do presente trabalho.

1.2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a viabilidade técnica de um sistema de drenagem urbana sustentável.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos da presente pesquisa são:

- Delimitar e caracterizar uma área de loteamento para estudo;
- Desenvolvimento de soluções técnicas de drenagem urbana convencional e um sistema de drenagem sustentável (SuDS) para um empreendimento do tipo loteamento urbano;
- Dimensionar na área de estudo, um sistema de drenagem urbana sustentável (SuDS);
- Análise comparativa da viabilidade técnica das soluções de drenagem convencional e sistemas de drenagem urbana sustentável (SuDS).

CAPÍTULO 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo abordará tópicos relacionados à drenagem urbana, às desvantagens do uso de métodos tradicionais de drenagem e à importância que o sistema de drenagem urbana sustentável traz ao meio ambiente e às pessoas que ali convivem.

2.1 PROCESSO HISTÓRICO DE URBANIZAÇÃO

Na segunda metade do século XX, o desenvolvimento urbano se acelera com a concentração da população em um espaço reduzido, provocando uma competição por recursos naturais, o solo e a água, degradando a biodiversidade natural. Foi após a Segunda Guerra Mundial que ocorreu o chamado “baby boomer”, expressão que faz referência ao crescimento populacional seguido da urbanização acelerada - a população de outras cidades e agricultores migravam para os centros urbanos - o que resultou em um colapso do ambiente urbano devido, principalmente, aos efluentes sem tratamento (TUCCI, 2008).

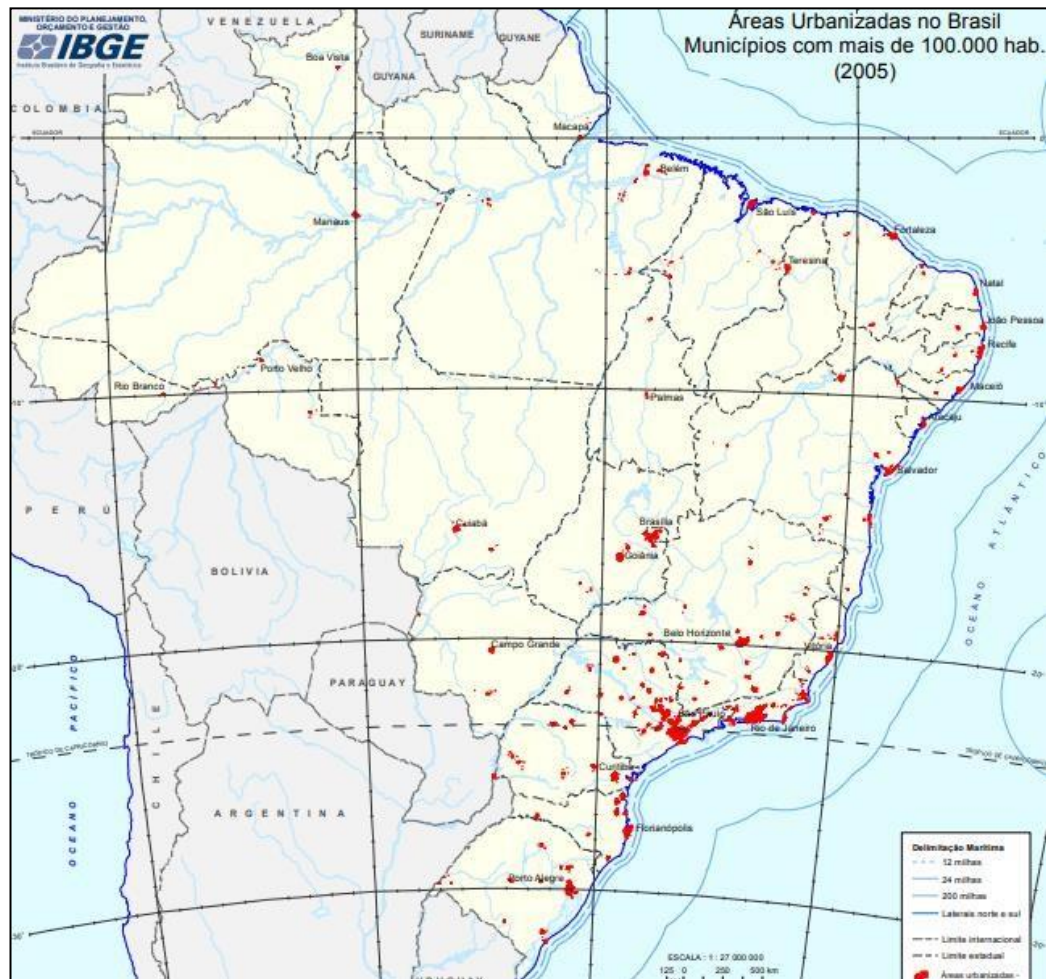
A urbanização é um processo que, historicamente, se apresenta intimamente ligado ao desenvolvimento econômico e que altera a estrutura demográfica e social das áreas urbanas e rurais (ONU, 2018). Segundo Tucci 2008, a urbanização sofre um aumento devido ao crescimento econômico quando o perfil da renda se altera e o emprego se concentra mais nos serviços e na indústria do que na agricultura.

Segundo dados da ONU (2018), entre os anos de 1950 e 2018, a população urbana do mundo cresceu mais de quatro vezes, passando de cerca de 0,8 bilhão para cerca de 4,2 bilhões, o que resulta em uma taxa média anual de variação da população urbana durante este período de 2,54%, ou seja, mais de 50% superior à da população mundial como um todo (1,62%). Nesse período, a população mundial se urbanizou rapidamente, com a proporção urbana subindo de 30% em 1950, para 55% em 2018, apresentando uma taxa média anual de variação do percentual urbano de 0,92%. Como consequência dessa rápida urbanização, pela primeira vez, em 2007 a população do mundo tornou-se mais urbana do que rural.

Na Figura 2 a seguir, nota-se o crescimento das áreas urbanizadas do Brasil para municípios com mais de 100.000 habitantes, conforme demonstra o projeto de Áreas Urbanizadas do Brasil dos anos de 2005 e 2015, do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE). Os pontos em vermelho representam as áreas urbanizadas das concentrações urbanas com mais de 100.000 habitantes.

Figura 2 - Áreas Urbanizadas no Brasil



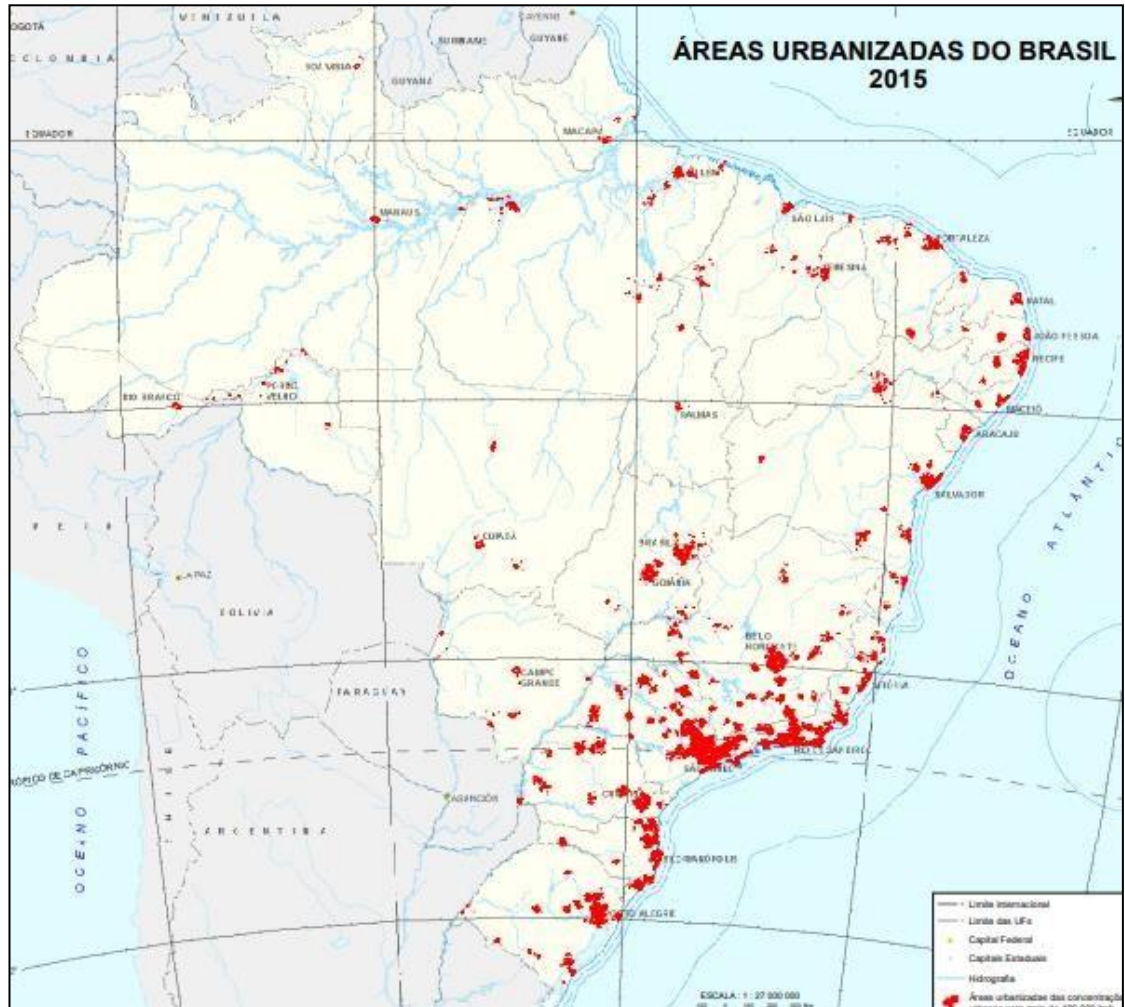
Legenda:



Áreas urbanizadas das concentrações urbanas com mais de 100.000 habitantes.

Fonte: IBGE (2005)

Figura 3 - Áreas Urbanizadas do Brasil (2015)



Legenda:



Áreas urbanizadas das concentrações urbanas com mais de 100.000 habitantes.

Fonte: IBGE (2017)

Para o mapeamento das áreas urbanizadas de 2005 (Figura 2), as manchas urbanizadas foram classificadas em três categorias:

- Muito densa, tendo como característica um adensamento acentuado de construções, com presença de verticalizações e quase não ausência de solo não impermeabilizado;

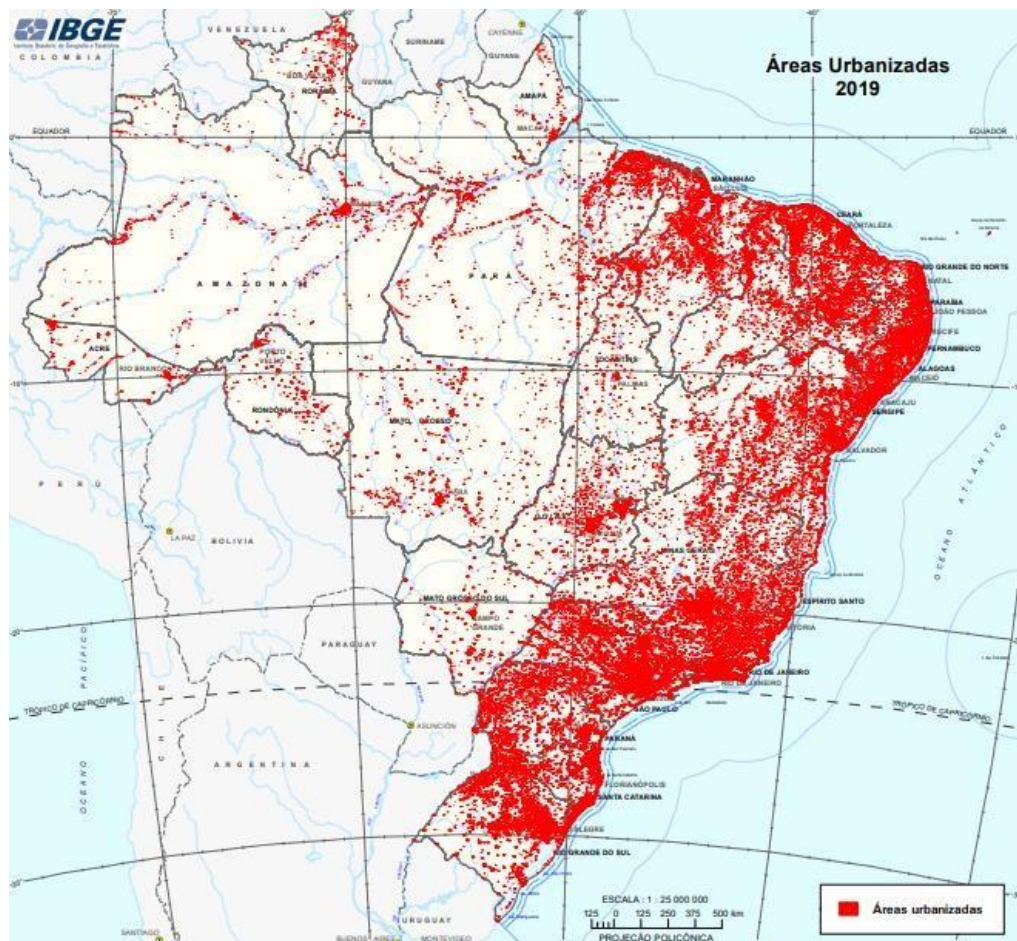
- Densa, caracterizando-se por uma ocupação urbana contínua, baixa verticalização, com predominância de casas, com pouco espaçamento entre as construções, porém, com maior presença de solo permeável;
- Pouco densa, caracterizando-se pela presença de feições urbanas (ruas, quadras, etc.), com uma ocupação espalhada, que representam loteamentos ainda em transição entre a paisagem rural e urbana, situando-se geralmente nas bordas das manchas densas.

Para o mapeamento de 2015 (**Figura 3**), não foi aplicado em primeiro momento a categoria muito densa (IBGE, 2005;2015). Comparando as **Figura 2** e **Figura 3** observa-se um aumento do número de áreas urbanizadas com mais de habitantes. Todo este crescimento ocorre principalmente nas periferias das cidades, ocupando áreas de mananciais e de risco de inundações.

A fim de obter dados mais recentes e precisos, o IBGE (2022) realiza um novo mapeamento com uma metodologia diferente das edições de 2005 e 2015. O atual mapeamento se diferencia pela disponibilidade de produtos de sensoriamento remoto retratando de forma detalhada o Território Nacional, além de adicionar a categoria de loteamentos vazios constituídos, somando com as categorias densas e pouco densas presente nas edições anteriores, por áreas que não possuem ocupação e circulação que caracterizam o modo de vida urbano, mas que representam a intervenção antrópica e apontam para um indicativo das frentes de expansão do fenômeno IBGE (2022).

Vale ressaltar que o atual mapeamento realizado pelo IBGE (2022) analisa áreas acima de 10 domicílios diferentemente da metodologia das versões anteriores que considerava áreas acima de 100.000 habitantes, fator este que limita a comparação dos resultados dos mapeamentos, possibilitando apenas análises isoladas do ano de 2019. A **Figura 4** a seguir retrata o atual mapeamento de áreas urbanizadas do Brasil.

Figura 4 - Áreas Urbanizadas 2019



Legenda:



Áreas Urbanizadas

Fonte: IBGE (2022)

Neste sentido, os mapeamentos que mostram a evolução da urbanização apontam o quanto a paisagem é transformada: densidades de construções, infraestrutura de circulação de pessoas, o espaçamento de áreas preservadas, além de retratar a forma, a distribuição e a expansão da urbanização. (IBGE, 2022)

Por fim, outro ponto a ser destacado é como a ocupação descontrolada afeta diretamente e corrobora com a falta de infraestrutura e serviços inadequados e sobrecarregados – como as coletas de lixo, sistemas de água e saneamento, estradas e transportes –, agravamento da poluição do ar, expansão urbana não planejada, e a capacidade do poder público em possuir, ou até mesmo, de cobrar a aplicação das legislações. (UN, 2019; TUCCI, 2003)

2.2 IMPACTOS DA URBANIZAÇÃO

O crescimento urbano tem provocado impactos na população e no meio ambiente, pela forma como as cidades se desenvolvem sem o devido planejamento urbano. Esses impactos geram graves consequências ambientais, afetando o ciclo hidrológico (ANTUNES; DIAS, 2010).

Neste sentido, o acelerado e desordenado processo de urbanização, segundo Bastos (2009), transformou os centros urbanos em áreas com altas densidades populacionais, causando efeitos negativos referentes aos dispositivos relacionados aos recursos hídricos, em especial, sobre o sistema de drenagem.

Logo, a ausência do planejamento urbano e a ocupação irresponsável de áreas, desrespeita o sistema de drenagem natural das águas, causando: o aterramento das margens dos rios, riachos, lagoas e a ocupação de áreas de amortecimento de cheias, ocasionado problemas decorrentes da impermeabilização do solo, como as enchentes (BASTOS, 2009).

Posto isto, Tucci (2008), pontua os principais problemas relacionados à infraestrutura de água no ambiente urbano:

- Falta de tratamento de esgoto: A maioria das cidades não possui tratamento de esgoto e lança os efluentes na rede de esgotamento pluvial, que escoam pelos rios urbanos;
- Falta de drenagem urbana: Algumas cidades chegaram a desenvolver redes de esgotamento sanitário (muitas vezes sem tratamento), mas não implementaram a rede de drenagem urbana, sofrendo frequentes inundações com o aumento da impermeabilização;

- Ocupação do leito de inundação ribeirinha, provocando frequentes inundações;
- Impermeabilização e canalização dos rios urbanos, com aumento da vazão de cheia (até sete vezes) e de sua frequência; e aumento da carga de resíduos sólidos além da diminuição da qualidade da água pluvial sobre os rios próximos das áreas urbanas;
- Deterioração da qualidade da água em virtude da falta de tratamento dos efluentes, criando potenciais riscos ao abastecimento da população em vários cenários, entre os quais a ocupação das áreas de contribuição de reservatórios de abastecimento urbano, que podem produzir riscos à saúde da população;
- Carência de uma gestão organizacional que integre o solo urbano à sua infraestrutura.

Em consequência da urbanização e dos problemas relacionados à infraestrutura, como exposto acima, Antunes e Dias (2010), apresentam os danos ambientais causados pela alteração no ciclo hidrológico, são eles:

- Elevação da temperatura: referente à formação das ilhas de calor - originadas pela concentração de calor dos centros urbanos – que são responsáveis pelas precipitações mais intensas nas grandes áreas urbanas. Essa concentração de calor deve-se à capacidade de absorção de calor pelas superfícies impermeáveis, à concentração de edifícios que interfere na circulação dos ventos, à utilização de energia pelos veículos a combustão interna, entre outras atividades cotidianas. Esses fatores aumentam o aquecimento da atmosfera, a retenção de calor pela poluição atmosférica e a evaporação rápida da água impossibilitando o resfriamento e a umidificação do ar;
- Acúmulo de sedimentos: as redes de drenagem urbana são consideradas como importantes fontes de degradação de corpos d'água, pois, parte da poluição deve-se ao carregamento de material solto pelo escoamento superficial sobre as áreas impermeáveis, áreas em fase de construção, depósitos de resíduos sólidos, entre outros. A impermeabilização do solo impede o processo de infiltração e aumenta a velocidade do escoamento superficial, provocando uma maior lâmina de escoamento superficial e aumenta a capacidade de transporte de cargas poluidoras;

- Qualidade da água pluvial: a poluição da água pode ser ocasionada por dois tipos: pontual e difusa. A pontual origina-se no lançamento de efluentes industriais ou domésticos nos corpos hídricos de forma concentrada e intermitente. A poluição difusa é originada em área urbana ou rural, por diversos geradores de resíduos sólidos, podendo ser de veículos, casas, escoamento das águas pluviais, entre outras;
- Contaminação de aquíferos: em áreas urbanas, os principais focos de contaminação são: implantação de aterros sanitários e lixões em áreas de recarga de aquífero e solos de alta permeabilidade; ausência de rede de esgoto sanitário; falta de manutenção nas redes de drenagem e esgoto, podendo apresentar vazamentos nas tubulações.

Esses impactos causados pela urbanização podem ser amenizados através de um planejamento urbano eficaz. A seguir serão apresentadas a definição e os principais elementos do planejamento urbano ligados aos projetos de drenagem.

2.3 PLANEJAMENTO URBANO

As áreas próximas aos rios geralmente são planas, motivando a ocupação humana no seu entorno, pois, desde o princípio, o homem sempre procurou se estabelecer perto dos rios com o intuito de aproveitamento para o uso de transporte, abastecimento de água para consumo e a disposição de seus dejetos. Mesmo na tentativa de ocupar áreas mais altas, com o crescimento desordenado das cidades, as áreas de risco, como as várzeas inundáveis, foram ocupadas, trazendo, como consequência, prejuízos humanos e materiais significativos resultantes das inundações subsequentes (TUCCI, 2005).

De acordo com Bastos (2009), o documento básico da política de desenvolvimento e de expansão urbana é o Plano Diretor Urbano (PDU), que é orientado pelo poder municipal e contempla as diretrizes para o uso e ocupação do solo, como parte integrante do processo de planejamento municipal.

A cidade de Jataí – GO, dispõe da Lei nº. 3070 de 28 de junho de 2010 (JATAÍ, 2010), a qual institui o Plano Diretor Urbano para o município formado, principalmente, pelo código de Edificações, Código de Posturas, pelas Leis de Uso e Ocupação do Solo Urbano, Parcelamento do Solo Urbano, que têm o objetivo de garantir o equilíbrio do

crescimento demográfico/econômico e a qualidade de vida e bem-estar da população na área urbana (SMAU, 2019).

Nesse sentido, a lei de Uso e Ocupação do Solo nº 3068 de 28 de junho de 2010 do Município de Jataí, tem por objetivos principais estabelecer critérios de ocupação e utilização do solo urbano, possibilitando o controle das densidades demográficas e proporcionando um crescimento ordenado, compatibilizar as diversas atividades dentro de áreas de zoneamento, evitar a deterioração de áreas urbanas, a poluição e a degradação ambiental.

A referida lei ainda define que: o Zoneamento é o processo destinado a delimitar ou expandir as áreas urbanas, para as quais são definidos os usos e parâmetros de ocupação do solo, possibilitando definir a sua densidade demográfica e física; o uso do Solo, por sua vez, relaciona as diversas atividades para cada zona; e, por fim, a ocupação do Solo, que é a relação de como a edificação ocupa o lote urbano em função dos parâmetros urbanísticos (coeficiente de aproveitamento, recuos mínimos obrigatórios e taxa de ocupação).

Segundo Bastos (2009), os possíveis problemas gerados pela incompatibilidade de usos do solo dizem respeito, principalmente, ao desequilíbrio ambiental, à vulnerabilidade a acidentes e catástrofes, naturais ou não, à disponibilidade de infraestrutura e à preservação do patrimônio histórico e paisagístico.

Nestas condições, Tucci (2005) diz que um dos princípios básicos do controle do escoamento pluvial, tanto os oriundos das enchentes naturais da várzea quanto os da urbanização, são os meios de implantação de controle de enchentes, que abrange o Plano Diretor Urbano, a Legislação Municipal/Estadual e o Manual de Drenagem, sendo que o primeiro estabelece as linhas principais, a legislação controla e o manual orienta.

Tucci (2003) diz que para implementar medidas sustentáveis na cidade é necessário desenvolver o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDU). Dessa forma, o PDDU da cidade de Jataí (SMAU, 2019), enuncia que dentro da gestão sustentável das águas pluviais, é indispensável que as medidas aplicadas reduzam o impacto em determinada área e não transfira o problema para outra, com o intuito de evitar problemas maiores e custos elevados de reparo.

Com a finalidade de obter um sistema de drenagem pluvial sustentável, o PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), adota medidas a serem aplicadas, tais como: medidas

estruturais, que são compostas por soluções físicas, dentre elas se enquadram as bocas de lobo, galerias, bacias de detenção e retenção, entre outras; e as medidas não estruturais, são formadas por soluções indiretas e não utilizam instrumentos que alteram diretamente o regime de escoamento, como: aplicação de legislações apropriadas, fiscalizações, manutenções dos elementos estruturais, conscientização popular, entre outros.

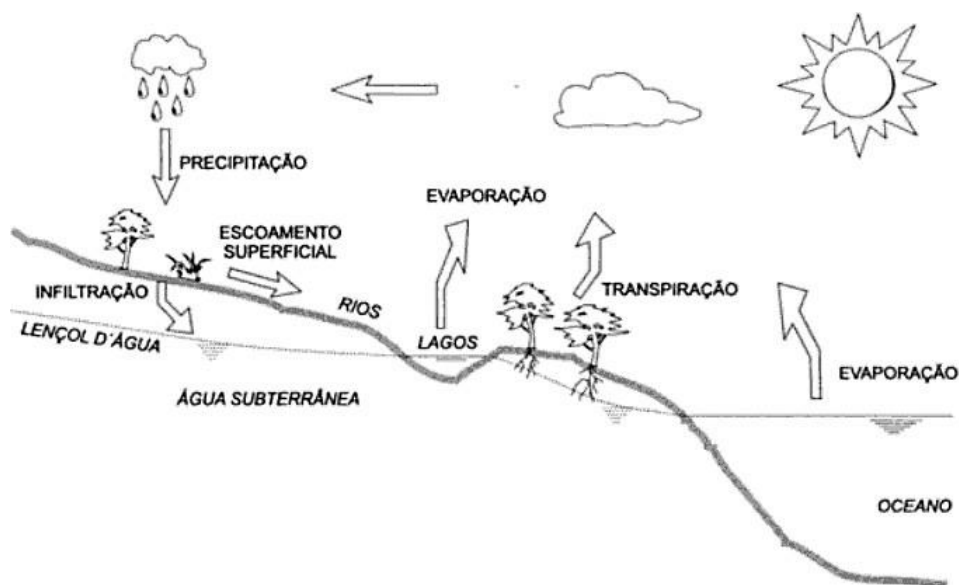
É imprescindível que tais leis e critérios sejam seguidos para que, segundo Bastos (2009), se garanta a preservação de áreas como recursos hídricos e suas planícies de inundações, encostas, ecossistemas costeiros, áreas de recarga de aquíferos e de amortecimento de cheias, terrenos suscetíveis a erosão, locais com vegetação natural, entre outras.

Além disso, o Plano Diretor, para Antunes e Dias (2010), deve ser desenvolvido junto à população, integrando um trabalho de educação ambiental orientado para o tema das águas urbanas, com intuito de colaborar com sugestões que atendam à demanda e tornem acessível os conhecimentos dos benefícios.

2.4 CICLO HIDROLÓGICO

O ciclo hidrológico, conhecido também como ciclo da água, é definido brevemente por Sperling (2014) como sendo a movimentação da água de um meio para o outro na Terra.

Relacionado a este ciclo, Sperling (2014) descreve os mecanismos compostos do ciclo da água, sendo: a Precipitação, que envolve toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra, seja em forma de chuva, neve, granizo ou orvalho; o Escoamento Superficial, compreendendo o escoamento das precipitações que atingem a superfície ou que infiltram no solo; a Infiltração, que corresponde à parcela da água que infiltra no solo, formando os lençóis d'água, sendo os grandes responsáveis pela alimentação dos corpos d'água superficiais; e a Evapotranspiração, que consiste na transferência da água para o meio atmosférico, que se divide em dois mecanismos: a Evaporação, que é a transferência da água no estado líquido para o gasoso (depende da temperatura e da umidade relativa do ar), e a Transpiração, que se dá pela evaporação da água contida nas folhas das plantas. Na Figura 5 está apresentado um esquema simplificado do ciclo hidrológico.

Figura 5 - Ciclo Hidrológico

Fonte: SPERLING (2014)

O ciclo hidrológico natural, para Tucci (2005), apresenta processos físicos, químicos e biológicos, sendo que qualquer atuação antrópica pode causar drásticas mudanças no ciclo, impactando significativamente o modo de vida do homem e a natureza. O crescimento dos centros urbanos traz inúmeros efeitos que impactam o referido ciclo, segundo o PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), juntamente com a urbanização, ocorreu o aumento da impermeabilização do solo, reduzindo a capacidade de infiltração e gerando um acréscimo ao escoamento superficial das águas pluviais resultando no acúmulo do volume de água em pontos de saturação.

Tucci (2005) conclui que a consequência da expansão urbana sem uma visão ambiental é a escassez qualitativa, pois, ocorre a deterioração dos mananciais e a redução da cobertura de água segura para a população, necessitando assim, de diferentes ações preventivas envolvendo o planejamento urbano e ambiental, com o intuito de inserir um desenvolvimento sustentável, além de minimizar os impactos.

2.5 PARÂMETROS HIDROLÓGICOS

Neste tópico serão abordados os principais parâmetros hidrológicos utilizados no presente trabalho.

2.5.1 Tempo de retorno ou recorrência

Tempo de retorno (T_R), para Fernández e Azevedo Netto (2015), é o período que uma dada chuva pode ocorrer ou ser superada, em anos.

Na Tabela 1 a seguir, sugerem-se valores de recorrência para diferentes tipos de ocupação da área.

Tabela 1 - Retornos para diferentes ocupações de área.

Tipos de Obra	Tipos de Ocupação	T_R (anos)
Macro drenagem	Residencial	2
	Comercial	5
	Áreas com edifícios com serviço público	5
	Aeroportos	2-5
	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Micro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
	Áreas de importância específica	500

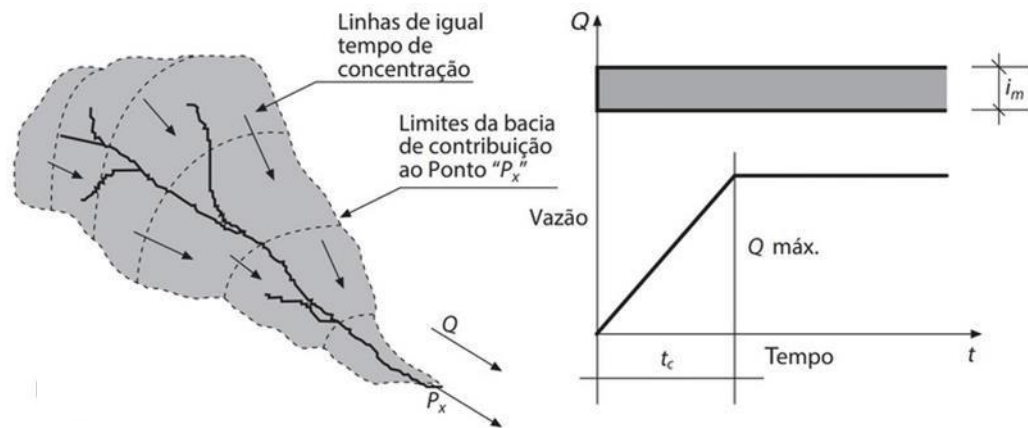
Fonte: Azevedo Netto (1998, 544 p.)

Segundo o PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), o valor do tempo de retorno varia de acordo com o tipo de estrutura a ser dimensionada, para projetos de micro drenagem esses valores variam de dois a dez anos, como mostrado na Tabela 1 acima.

2.5.2 Tempo de Concentração

O tempo de concentração (t_c) é definido como sendo o tempo necessário para o escoamento percorrer do ponto mais remoto da bacia hidrográfica ao exutório (Gribbin, 2014). Na Figura 6 está representado o tempo de concentração.

Figura 6 - Representação gráfica do “Tempo de Concentração” ao exutório (ponto P_x).



Fonte: FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO (2015)

Existem várias fórmulas para o cálculo do tempo de concentração, Fernández e Azevedo Netto (2015) adotam duas formulações mais frequentes, sendo elas as fórmulas de Picking (Equação 1) e do Califórnia Highways and Public Works (Culverts Practice) (Equação 2), em que: t_c = Tempo de concentração (minutos); L = Extensão do Talvegue (Km); I = Declividade média do talvegue (m/m); H = Diferença de cotas entre a seção de drenagem e o ponto mais alto do Talvegue (m).

$$t_c = 5,3 \cdot (L^2/I)^{1/3} \quad (1)$$

$$t_c = 57 \cdot (L^3/H)^{0,385} \quad (2)$$

De acordo com Fernández e Azevedo Netto (2015), o tempo de concentração depende de diversas características fisiográficas da bacia hidrográfica, as mais frequentes são o comprimento e a declividade do “talvegue” (vale) principal.

2.5.3 Intensidade Pluviométrica

Como citado anteriormente, a precipitação compreende toda a água que cai da atmosfera na superfície da Terra em forma de: chuva, neve, granizo e orvalho (SPERLING, 2014).

Segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), a quantidade de chuva pode ser medida através da altura pluviométrica (h), que consiste na altura que a água precipitada atingiria sem se infiltrar e sem o escoamento superficial.

Além da grandeza pluviométrica, o autor destaca outras grandezas pertinentes às precipitações, são elas: Duração (t_n), que consiste no intervalo de tempo de observação de uma chuva; Intensidade (i), que é a relação altura/duração, onde altas intensidades correspondem a curtas durações (mm/hora ou mm/dia); Frequência (f), é o número de vezes que determinada chuva ocorre ou é superada em um dado tempo, geralmente no ano (quantidade por ano); Tempo de recorrência (T_R), denominado também como “tempo de retorno”.

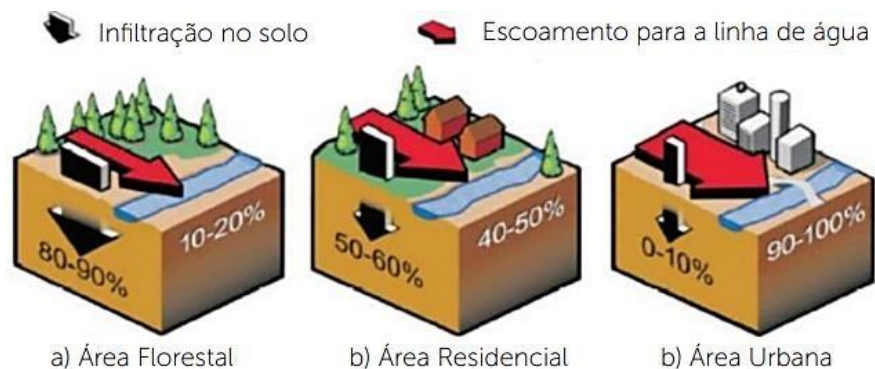
A intensidade de precipitação é calculada pela Equação 3, em que: i = Intensidade da precipitação (mm/h); t_n = Duração da chuva (min.); T_R = Tempo de recorrência (anos); a , b , m e n são parâmetros dependentes do local.

$$i = (a \cdot T_R^n) / (t_n + b)^m \quad (3)$$

2.5.4 Coeficiente de Escoamento Superficial

O escoamento superficial, segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), é a parcela do volume total de água da precipitação que escoar sobre a superfície e, conseqüentemente, constitui as enxurradas, córregos, ribeirões, rios, lagos e mar, e o restante, é interceptado pela cobertura vegetal ou declividades do terreno que infiltra e/ou evapora. Na Figura 7 estão representadas as relações de infiltração e escoamento para os diferentes tipos de solo.

Figura 7 - Relações de infiltração e escoamento para diferentes tipos de solo



Fonte: ALMEIDA, MASINI E MALTA (2015)

De acordo com Fernández e Azevedo Netto (2015), a proporção entre as parcelas que escoam e as que ficam retidas ou voltam à atmosfera depende das condições físicas do

solo, como a declividade, o tipo da vegetação, a impermeabilização, a capacidade de infiltração, depressões e condições climático-meteorológicas.

A Tabela 2 traz alguns valores de coeficientes de escoamento (C) para diferentes coberturas do solo em áreas urbanas.

Tabela 2 - Valores do coeficiente de escoamento (C) para diferentes coberturas do solo em áreas urbanas.

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

Fonte: Wilken (1978) apud Almeida, Masini e Malta (2015)

Almeida, Masini e Malta (2015) dizem que para o cálculo do escoamento superficial deve se considerar as diferentes coberturas do solo de uma determinada área, ou seja, deve-se calcular um valor médio considerando os diferentes valores de C, pela Equação 4, em que: C₁, C₂ até C_n correspondem aos valores de C conforme o tipo da superfície do solo (adimensional); A₁, A₂ até A_n correspondem aos valores das áreas encontradas correspondentes aos diferentes valores de C (m²).

$$C_{\text{médio}} = (C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n) / \sum A_n \quad (4)$$

2.5.5 Vazão

Segundo o método racional, a vazão é calculada pela Equação 5.

$$Q = C_m \cdot i_m \cdot A \quad (5)$$

Em que, Q corresponde à vazão de enchente na seção de drenagem (m^3/s); C_m é o coeficiente de escoamento superficial da bacia hidrográfica; i_m é a intensidade média da precipitação sobre toda a área da bacia, com duração igual ao tempo de concentração ($\text{m}^3/\text{s} \times \text{ha}$ (por hectare)) e A é a área da bacia hidrográfica (ha).

A aplicação do método racional, conforme Fernández e Azevedo Netto (2015), é limitada para pequenas bacias com área inferior a 500 ha, considerando chuvas com tempo de retorno não superiores a 50 anos.

2.6 MÉTODO RACIONAL DE DIMENSIONAMENTO

Para avaliação da vazão, segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), é utilizado o “método racional”, que pressupõe algumas simplificações, sendo elas: a vazão máxima decorrente da duração da chuva é igual ao tempo de concentração, dispondo de uma intensidade constante na duração da chuva; durante o tempo de chuva a permeabilidade não se altera.

O método mencionado, de acordo com Tucci (2005), é utilizado para estimativas de vazões na microdrenagem.

2.7 DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL

A drenagem urbana, é definida por Tucci (2005), como uma rede de coleta da água (e de resíduos sólidos), que provém da precipitação sobre as superfícies urbanas, seu tratamento e retorno aos rios. É definida na fonte como sendo o escoamento que ocorre no lote, no condomínio, estacionamentos, parques e passeios, sendo dividida em microdrenagem e macrodrenagem (TUCCI, 2005).

No século XIX, com o avanço no crescimento das cidades e aumento da população, a relação entre o urbanismo e águas urbanas toma outros caminhos, surgindo a abordagem higienista, como se destaca no seguinte trecho:

[...] Evidenciou-se o papel sanitário de águas pluviais como transmissor de doenças, contribuindo para uma mudança de concepção das relações entre urbanismo e águas urbanas, levando ao conceito higienista de drenagem. A abordagem higienista é caracterizada pela evacuação rápida das águas pluviais e servidas, por meio de impermeabilização de áreas e sistemas de condutos artificiais (CRUZ; SOUZA; TUCCI., 2012, p. 10).

Os lotes urbanos, na sua maioria, adotaram soluções para drenagem de águas pluviais baseadas nos princípios higienistas. Projetavam-se as construções para terem um rápido escoamento das águas pluviais para longe da área de captação, ou seja, a fim de se dar soluções consideradas “eficientes” para o caminho das águas, utilizava-se enorme concentração de esforços na impermeabilização do solo (OHNUMA JÚNIOR, 2008).

Yazaki, Montenegro e Costa (2018), dizem que o sistema convencional de drenagem urbana altera o ciclo hidrológico natural da mesma forma que o processo de urbanização, já mencionado anteriormente: o escoamento superficial aumenta; acelera a velocidade de escoamento nas galerias de águas pluviais, tendo vazões maiores em tempos mais curtos; a infiltração no solo diminui, prejudicando o nível do lençol freático; aumento de temperatura e diminuição da umidade do ar, devido à redução da cobertura natural.

Segundo Tucci e Collischonn (1988), a drenagem urbana tem sido desenvolvida dentro de premissas estruturais onde os impactos são transferidos de montante para jusante sem nenhum controle de suas fontes.

Na visão “higienista” eram implantadas obras de canalização que acelerassem o escoamento e o afastamento rápido dos picos de cheias para os corpos d’água de jusante, conseqüentemente, tal situação exige uma mudança radical na filosofia das soluções estruturais em drenagem urbana, onde a vertente “conservacionista”, que busca reter os escoamentos pluviais próximos as suas fontes, estabelece o modelo da drenagem urbana moderna, que consiste em aumentar a eficiência hidráulica promovendo o retardamento dos escoamentos, amortecendo os picos e reduzindo os volumes de enchentes por meio da retenção em reservatórios (CANHOLI, 2005).

2.8 INFRAESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM CONVENCIONAL

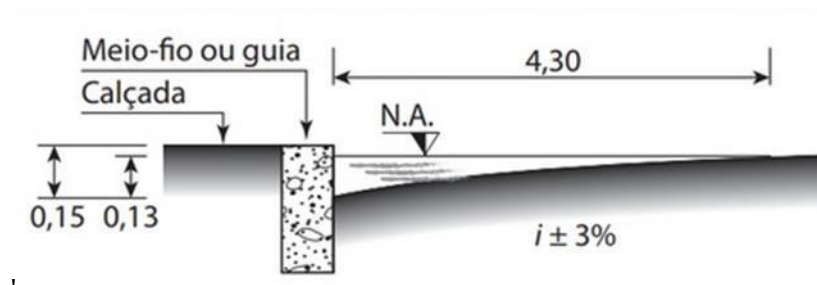
Os sistemas de drenagem podem ser classificados em microdrenagem e macrodrenagem. A microdrenagem é destinada a comportar a água de precipitações de risco moderado, composta por sistemas de condutos pluviais em nível de loteamento ou rede primária urbana. Já a macrodrenagem, conforme Tucci (2005), é projetada para atender grandes volumes de precipitações, compostos por sistemas coletores de diferentes sistemas de microdrenagem.

A seguir estão descritos os principais dispositivos relacionados à drenagem urbana convencional e seus métodos de dimensionamento, de acordo com Fernández e Azevedo Netto (2015).

2.8.1 Sarjetas e Sarjetões

É uma faixa que delimita a via pública com o meio-fio, que funciona como sendo uma calha para coleta de águas pluviais, decorrente do escoamento superficial. Fernández e Azevedo Netto (2015) diferenciam sarjetas, sendo calhas formadas por faixas da via pública e o meio-fio, e sarjetões, sendo compostos apenas por faixas nos cruzamentos de ruas. Segue representado na Figura 8 as sarjetas e meio-fio, com as dimensões em metros.

Figura 8 - Representação de meio fio e sarjetas



Fonte: FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO (2015)

Geralmente, os meios fios possuem altura de 0,15 m e se admite um enchimento máximo de 0,13 m, tendo uma declividade da via pública, nos casos comuns, de 3% para uma via de 10 m de largura, como mostrado na Figura 8.

Conforme Fernández e Azevedo Netto (2015), as sarjetas comportam-se como canais de seção triangular, em que o dimensionamento leva em consideração a máxima vazão de escoamento a fim de comparar com a máxima vazão originada da chuva de projeto e, assim, definir as posições das bocas de lobo, que têm a função de retirar a água das superfícies das ruas. Essa vazão é calculada pela Equação 6, também conhecida como fórmula de Manning.

$$Q = (A/n) \cdot R_H^{2/3} \cdot I^{1/2} \quad (6)$$

Em que n é o coeficiente de rugosidade de Manning (adotado como sendo igual a 0,016 – concreto rústico), Q é a vazão (m^3/s), A é a área da seção molhada (m^2), R_H é o raio hidráulico (m) da seção e I corresponde à declividade da sarjeta (m/m).

A capacidade hidráulica da sarjeta, segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), depende da declividade longitudinal e devem ser adotados coeficientes de segurança no dimensionamento, conforme mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Fatores de redução da vazão de cálculo das sarjetas

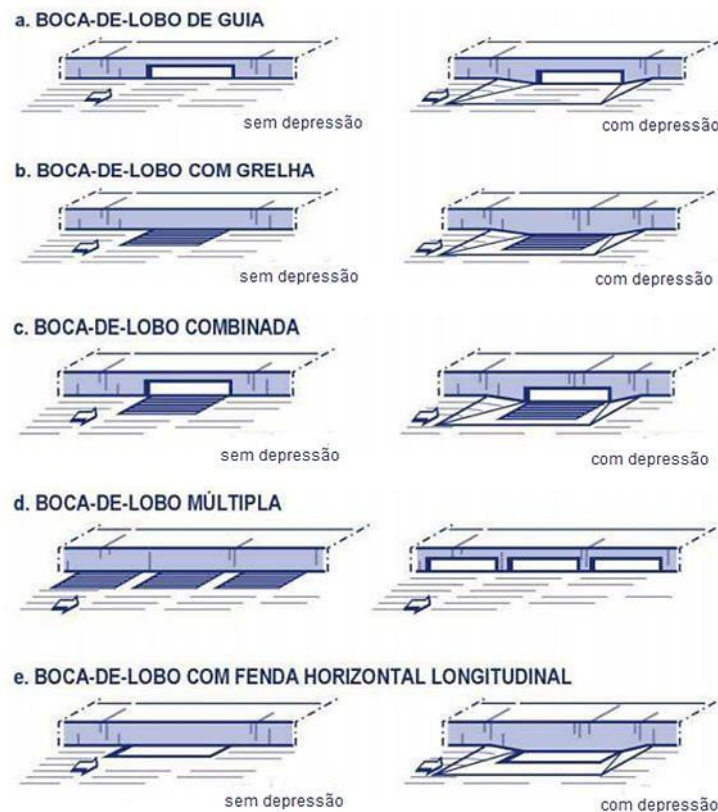
Declividade longitudinal da sarjeta em %	Fator de redução da vazão
Até 5,0	0,50
6,0	0,40
8,0	0,27
10	0,20

Fonte: Fendrich (1997) apud Fernández e Azevedo Netto (2015, p. 479)

Os fatores de redução são aplicados para aproximar o resultado teórico de casos reais de escoamento simulando alguns fatores como: a presença de detritos, prejudicando a fluidez do escoamento (FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO, 2015; SMAU, 2019).

2.8.2 Bocas de Lobo

As bocas de lobo são dispositivos para a captação de águas, localizados nas sarjetas. Podem ser de guia, de sarjeta ou mistas, conforme mostrado na Figura 9.

Figura 9 - Tipos de Bocas de Lobo

Fonte: ADAPTADO DE DAEE/CETESB (1980) APUD MANUAL DE DRENAGEM URBANA (2017)

A locação das bocas de lobo, segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), pode ser em ambos os lados das ruas, quando a capacidade hidráulica da sarjeta for ultrapassada. Nos pontos mais baixos das quadras, junto aos cruzamentos, elas devem estar a montante do vértice da sarjeta, a fim de evitar enxurradas que prejudiquem o fluxo de pedestres.

A capacidade Hidráulica das bocas de lobo, de acordo com Fernández e Azevedo Netto (2015), é dimensionada conforme o tipo e o formato delas:

Devem ser considerados fatores de redução como descritos na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Fatores de redução de escoamento para bocas de lobo (coeficientes de segurança)

Localização na sarjeta (rua)	Tipo de boca de lobo (ralo)	% vazão “permitida” sobre o valor teórico de cálculo
Ponto Baixo	De meio “fio” (guia)	80
	Com grelha	50
	Combinada	65
Ponto Intermediário	De “meio-fio” (guia)	80
	Grelha longitudinal	60
	Grelha transversal ou mista	60
	Combinada	110% da vazão “permitida” para a grelha

Fonte: Fendrich (1997) apud Fernández e Azevedo Netto (2015, 480 p.)

Os fatores de redução, segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), são aplicados com a mesma finalidade das sarjetas, aproximar o resultado calculado das condições e situações reais de escoamento.

2.8.3 Tubos de Ligação

É definido basicamente, por Fernández e Azevedo Netto (2015), como ligações entre as bocas lobo e os poços de visita ou caixas de ligação, conforme definições a seguir.

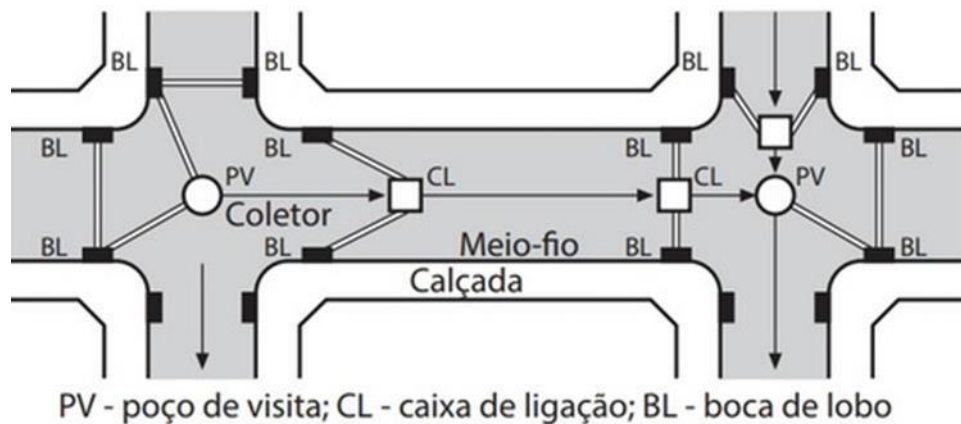
2.8.4 Caixas de Ligação

Segundo Fernández e Azevedo Netto (2015), são caixas não visitáveis com a função de receber os tubos provenientes das ligações de bocas de lobo intermediárias ou, até mesmo, para prevenir o excesso de ligações no mesmo poço de visita, no qual é permitido o máximo de quatro ligações.

2.8.5 Poços de Visita

São câmeras visitáveis com a função de permitir o acesso às galerias para a inspeção e manutenção, recebendo também a ligação de bueiros e bocas de lobo (FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO, 2015).

A Figura 10 representa a locação dos principais elementos de drenagem urbana, incluindo os poços de visita.

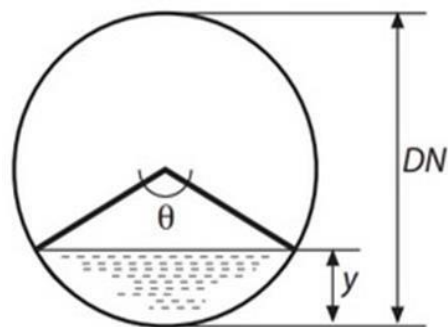
Figura 10 - Locação de elementos de captação

Fonte: FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO (2015)

Os poços de visita devem ser locados nos pontos de reunião dos condutos (cruzamento de ruas), mudança de seção, declividade e de direção (Férrandez e Azevedo Netto, 2015).

2.8.6 Galerias

São canalizações oriundas das ligações privadas e das bocas de lobo, destinadas a escoar as águas pluviais. Geralmente funcionam como um conduto livre (Férrandez e Azevedo Netto, 2015). Segue a representação de uma galeria na Figura 11.

Figura 11 - Representação de Galeria

Fonte: FÉRNANDEZ E AZEVEDO NETTO (2015).

Alguns critérios, segundo Férrandez e Azevedo Netto (2015), devem ser sugeridos ou estabelecidos, dentre os mais comuns estão: DN mínimo (300 mm), dimensão mínima das seções retangulares (altura $H = 0,5$ m); as dimensões circulares são dimensionadas a seção de máxima vazão ($y = 0,95 \times DN$); a velocidade mínima (0,76 m/s) e velocidade máxima (5,0 m/s); a declividade econômica é considerada igual à do terreno no trecho; o

recobrimento mínimo (1,00 m); a profundidade máxima (3,50 m) em relação as arestas externas; as dimensões internas não podem reduzir da montante a jusante; as geratrizes superiores internas devem estar alinhadas quando o diâmetro tiver alteração.

Assim, o dimensionamento hidráulico, conforme Fernández e Azevedo Netto (2015), das galerias de águas pluviais é feito por meio da fórmula de Chèzy e coeficiente de Manning. Pela fórmula de Manning, considerando-se altura de lâmina d'água de $0,9 \cdot D$, o diâmetro pode ser calculado pela Equação 7, em que: D é o diâmetro (m); n = coeficiente de rugosidade de Manning; Q = vazão (m^3/s); I = declividade (m/m).

$$D = 1,511 \cdot (n \cdot Q \cdot I^{-1/2})^{3/8} \quad (7)$$

O diâmetro pode ser calculado também pela Equação 8, que considera escoamento em seção plena.

$$D = 1,548 \cdot (n \cdot Q \cdot I^{-1/2})^{3/8} \quad (8)$$

2.9 DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

No final dos anos de 1990, a ciência passa a reconhecer os sistemas naturais de drenagem – que abrangem o papel do solo e da vegetação - no controle quali-quantitativo de águas pluviais, promovendo a infiltração, a evapotranspiração e o contato com bactérias e plantas. Nesse contexto, dentre os sistemas que mais se desenvolveram se destaca o de abordagem britânica denominado Sistemas de Drenagem Sustentáveis (SuDS). (SOUZA; CRUZ; TUCCI, 2012)

A drenagem urbana sustentável traz outra perspectiva em relação à abordagem higienista, a qual tinha como objetivo a evacuação rápida das águas pluviais por canais e condutos. Ela visa a redução do escoamento superficial, ou seja, o controle do escoamento na fonte, o qual acontece pela infiltração do excesso de água no subsolo, pela evaporação, evapotranspiração e pelo o armazenamento temporário possibilitando o reuso da água ou até um descarte lento após a chuva (ANTUNES; DIAS, 2010).

A premissa que abrange os SuDS, é que o escoamento superficial da água deve ser projetado para ter um aproveitamento máximo das águas. Ao contrário da drenagem convencional, os dispositivos de SuDS, geralmente, integram com o espaço público aberto, com o intuito de promover a interação entre a comunidade e o ambiente local, proporcionando, qualidade da água da drenagem urbana e o desempenho em neutralizar os impactos provenientes da urbanização (CIRIA, 2007; CIRIA 2015).

Dessa forma, o CIRIA (2007), pontua as principais vantagens da implantação deste sistema, que são:

- Redução do volume do escoamento superficial, consequentemente, reduz os riscos de inundações e aumenta a qualidade da água;
- Recarga das águas subterrâneas, que minimizam os impactos nos aquíferos;
- Redução das concentrações de poluentes nas águas pluviais, protegendo as águas do corpo de água receptor;
- Contribuição para o valor estético de áreas desenvolvidas, além de melhorar a biodiversidade.

Nesse sentido, Canholi (2005) trata de conceitos como medidas de controle não convencionais, que apresentam soluções que podem estar associadas ou não ao sistema de drenagem convencional, a fim de adequar ou otimizar o sistema de drenagem, trazendo baixo impacto ao meio ambiente. O autor evidencia as medidas mais frequentes que envolvem a retenção de escoamentos compostos por estruturas que amortecem os picos de vazão, destacando processos que melhoram a infiltração, como reter os escoamentos em reservatórios ou retardar o fluxo nas calhas dos córregos e rios. A Tabela 5 apresenta um comparativo das medidas convencionais (tratada pelo conceito de canalização) e medidas não convencionais (referida como conceito de reservação).

Tabela 5 - Conceito de canalização x Conceito de reservação

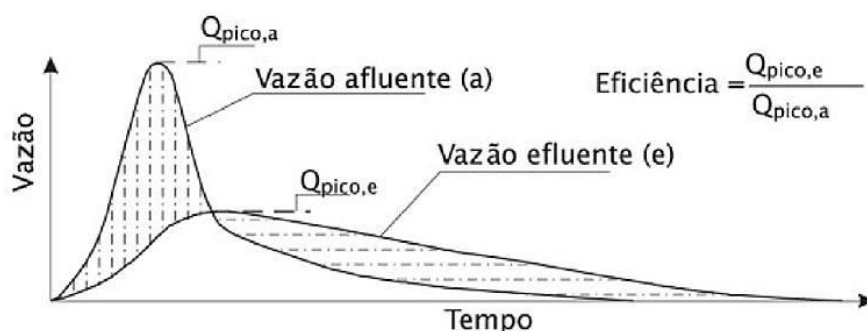
Característica	Canalização	Reservação
Função	Remoção rápida dos escoamentos	Contenção temporária para subsequente liberação
Componentes principais	Canais abertos/galerias	- Reservatório a superfície livre; - Reservatórios subterrâneos; - Retenção subsuperficial.
Aplicabilidade	- Instalação em áreas novas; - Construção por fases; - Ampliação de capacidade pode se tornar difícil (centros urbanos).	- Áreas novas (em ampliação); - Construção por fases; - Áreas existentes (à superfície ou subterrâneas).
Impacto nos trechos de jusante (quantidade)	- Aumenta significativamente os picos das enchentes em relação à condição anterior; - Maiores obras nos sistemas de jusante.	- Áreas novas: podem ser dimensionadas para impacto zero (Legislação EUA); - Reabilitação de sistemas: podem tornar vazões a jusante compatíveis com a capacidade disponível.
Impacto nos trechos de jusante (qualidade)	Transporta para o corpo receptor toda carga poluente afluente	Facilita remoção de material flutuante por concentração em áreas de recirculação dos reservatórios e dos sólidos em suspensão, pelo processo natural de decantação.
Manutenção/Operação	- Manutenção em geral pouco frequente (pode ocorrer excesso de assoreamento e de lixo); - Manutenção nas galerias é difícil (condições de acesso).	- Necessária limpeza periódica; - Necessária fiscalização; - Sistema de bombeamento requerem operação/manutenção; - Desinfecção eventual (insetos).
Estudos hidrológicos/hidráulicos	Requer definição dos picos de enchente	Requer definição dos hidrogramas (volumes das enchentes)

Fonte: Canholi (2005)

Como mencionado anteriormente, a drenagem urbana sustentável se dispõe também de medidas referentes à detenção a jusante, isto é, está relacionado a estruturas de detenção dos deflúvios visando controlar os escoamentos das bacias ou sub-bacias de drenagem,

tendo uma importância significativa para intervenções urbanas, sendo compostas principalmente por bacias de retenção e bacias de detenção. Na Figura 12, é possível observar o amortecimento dos picos das enchentes por meio da reservação dos volumes escoados (CANHOLI, 2005).

Figura 12 - Efeitos de detenção a jusante de enchentes



Fonte: CANHOLI (2014)

Como resultado, conforme Antunes e Dias (2010), a área passa a ter um comportamento semelhante às condições hidrológicas naturais, correspondendo a um menor escoamento superficial, menores níveis de erosão e de poluição das águas e, consequentemente, um menor investimento para a redução de impactos a jusante.

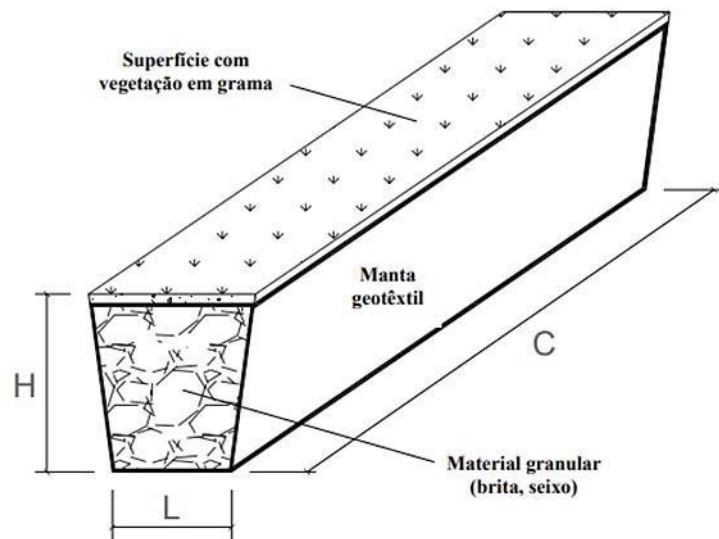
2.10 INFRAESTRUTURA E DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL

A seguir estão descritos os principais dispositivos relacionados à drenagem urbana sustentável e seus métodos de dimensionamento.

2.10.1 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração são dispositivos de drenagem que têm a função de armazenar a água pluvial durante o período necessário para que ocorra sua infiltração no solo, resultando na redução do volume e no amortecimento da vazão de enchente máxima, assim, reduz o risco de inundação, recarrega as águas subterrâneas, minimiza os problemas de saturação da rede de drenagem existente e consegue reduzir as dimensões de uma nova rede de drenagem (ANTUNES; DIAS, 2010). Na Figura 13, está representado o detalhamento de uma trincheira de infiltração.

Figura 13 - Detalhamento de uma trincheira de infiltração



Fonte: OHNUMA JÚNIOR (2008)

Pelo detalhamento da Figura 13, entende-se pelos parâmetros apresentados que C se refere ao comprimento da trincheira, L à largura e H à altura, elas podem possuir seção transversal trapezoidal ou retangular, conforme explica Ohnuma Júnior (2008).

Esses dispositivos possuem um preenchimento granular (porosidade média de 40%) revestido com um filtro geotêxtil desempenhando a função estrutural que evita a entrada de finos, reduzindo também a poluição das águas superficiais (ANTUNES; DIAS, 2010).

O dimensionamento de uma trincheira de infiltração leva em conta toda a água de escoamento superficial da área contribuinte, considerando um determinado período de retorno (SILVEIRA; GOLDENFUM, 2007).

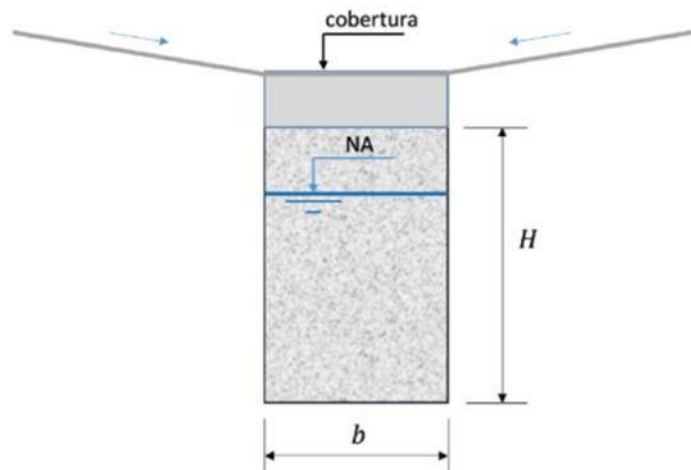
Segundo Yazaki, Montenegro e Costa (2018), o dimensionamento hidráulico de uma trincheira de infiltração é dado pelas Equações (9), (10) e (11), detalhadas a seguir.

O volume de preenchimento de uma trincheira de infiltração em função da geometria é calculado pela Equação 9, na qual, V_p = volume de preenchimento; b = largura da trincheira; L = comprimento da trincheira; H = altura do nível da água; i = declividade longitudinal.

$$V_p = b \cdot L \cdot [H - ((i \cdot L)/2)] \quad (9)$$

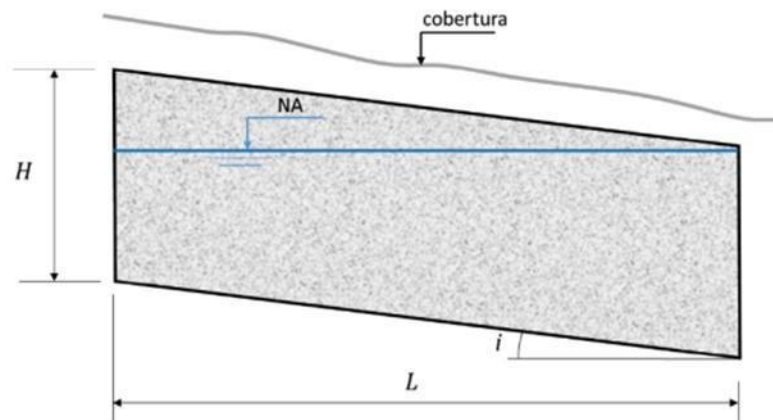
Na Figura 14 e Figura 15 estão representados um corte esquemático das trincheiras de infiltração e seus parâmetros.

Figura 14 - Corte Transversal de uma trincheira de infiltração



Fonte: YAZAKI, MONTENEGRO E COSTA (2018)

Figura 15 - Corte longitudinal de uma trincheira de infiltração.



Fonte: YAZAKI, MONTENEGRO E COSTA (2018)

Yazaki, Montenegro e Costa (2018) descrevem que as dimensões da trincheira são calculadas pela Equação 10, em que, b , L e H = largura, comprimento e altura (em m), respectivamente; i = declividade longitudinal (m/m); t_d = tempo de duração da chuva (min); P = índice de vazios (%); A = área de contribuição (ha); C = coeficiente de escoamento superficial (adimensional); I = intensidade da chuva crítica (L/s.ha); A_{inf} =

área de infiltração (m²); C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade.

$$b \cdot L \cdot \left(H - \frac{i \cdot L}{2}\right) = 6000 \cdot \left(\frac{t_d}{P}\right) \cdot [0,00125 \cdot A \cdot C \cdot (I - 24,4) - k \cdot A_{inf} \cdot C_s] \quad (10)$$

A área de infiltração (A_{inf}), pode ser calculada pela Equação 11(11, a seguir:

$$A_{inf} = L \cdot [(H + b - ((i \cdot L)/2)] \quad (11)$$

A intensidade da chuva crítica (I), é calculada pela Equação 12(12), sendo T_R = Período de retorno (anos).

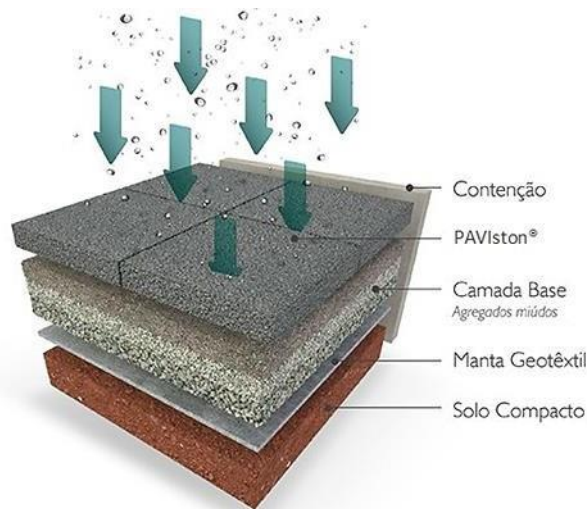
$$I = 4374,17 \cdot T_R^{0,207} / (t_d + 11)^{0,884} \quad (12)$$

2.10.2 Pavimentos Porosos ou Permeáveis

Os pavimentos permeáveis se diferem do pavimento convencional por possuírem a propriedade de reduzir o escoamento superficial das águas da chuva, porém possuem a mesma funcionalidade urbanística. Parte da água que escoar é absorvida, armazenada ou infiltrada no terreno, reduzindo os picos de cheias e o volume do escoamento superficial (ANTUNES; DIAS, 2010).

Os pavimentos são compostos, explica Canholi (2005), geralmente, por concreto ou asfaltos convencionais, dos quais foram retiradas as partículas mais finas, podendo ser construído sobre camadas permeáveis, com bases de camadas granulares, como representado na Figura 16.

Figura 16 - Representação de Pavimentos Porosos

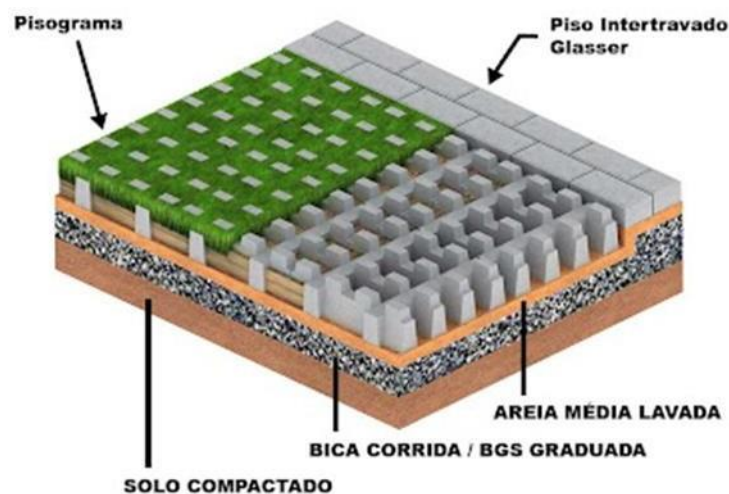


Fonte: GLOBALPAY© (2021)

Segundo Antunes e Dias (2010), o pavimento revestido de concreto é executado com agregados de granulometria isenta de finos, sob o revestimento são colocadas camadas filtrantes e, em seguida, uma camada de brita possuindo alto índices de vazios.

De acordo com Canholi (2005), este tipo de pavimento possui variações com a implantação de elementos celulares de concreto (blocos vazados), colocados também sobre base granular. Na Figura 17, está representado um tipo de pavimento permeável (Pisograma).

Figura 17 - Representação de Pavimentos Permeáveis (Pisograma)



Fonte: PORTAL PAVIMENTAR (2013)

Antunes e Dias (2010) explicam que os pavimentos de blocos vazados são assentados por camadas, sendo: a primeira camada de areia, em sequência uma camada filtrante e outra de material granular (geralmente brita), os vazios dos blocos, por sua vez, podem ser preenchidos com pedrisco, areia ou grama.

O coeficiente de escoamento superficial a ser adotado será o valor de 0,03 para blocos vazados, conforme determinado por Araújo, Goldenfum e Tucci (2000).

2.10.3 Reservatório de Detenção Aberto

Com a principal função de amortecer os picos do escoamento superficial, liberando mais lentamente os volumes afluentes, o reservatório de detenção aberto é um reservatório mantido a seco nos períodos de estiagem, podendo ser escavado ou materializado por uma pequena barragem de terra ou concreto possibilitando o aproveitamento das irregularidades do terreno (YAZAKI; MONTENEGRO E COSTA, 2018).

A Figura 18 a seguir, exemplifica um reservatório de detenção aberto.

Figura 18 - Reservatório de Detenção



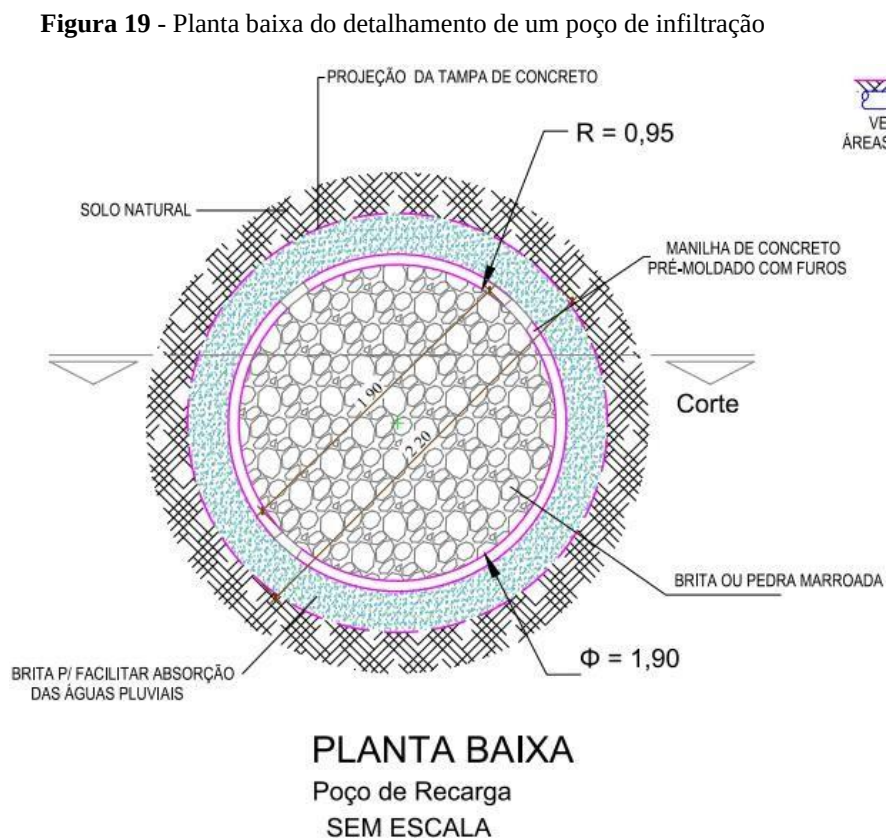
Fonte: Adaptado ABCP (2013)

Yazaki, Montenegro e Costa (2018) detalham ainda que o fundo dos taludes pode ser de terreno natural, terreno escavado ou de concreto, necessitando de dispositivos como uma bacia de decantação e gradeamento para a contenção de sedimentos e lixos, e na saída

se faz necessário um extravasor de emergência para direcionar vazões maiores que as previstas.

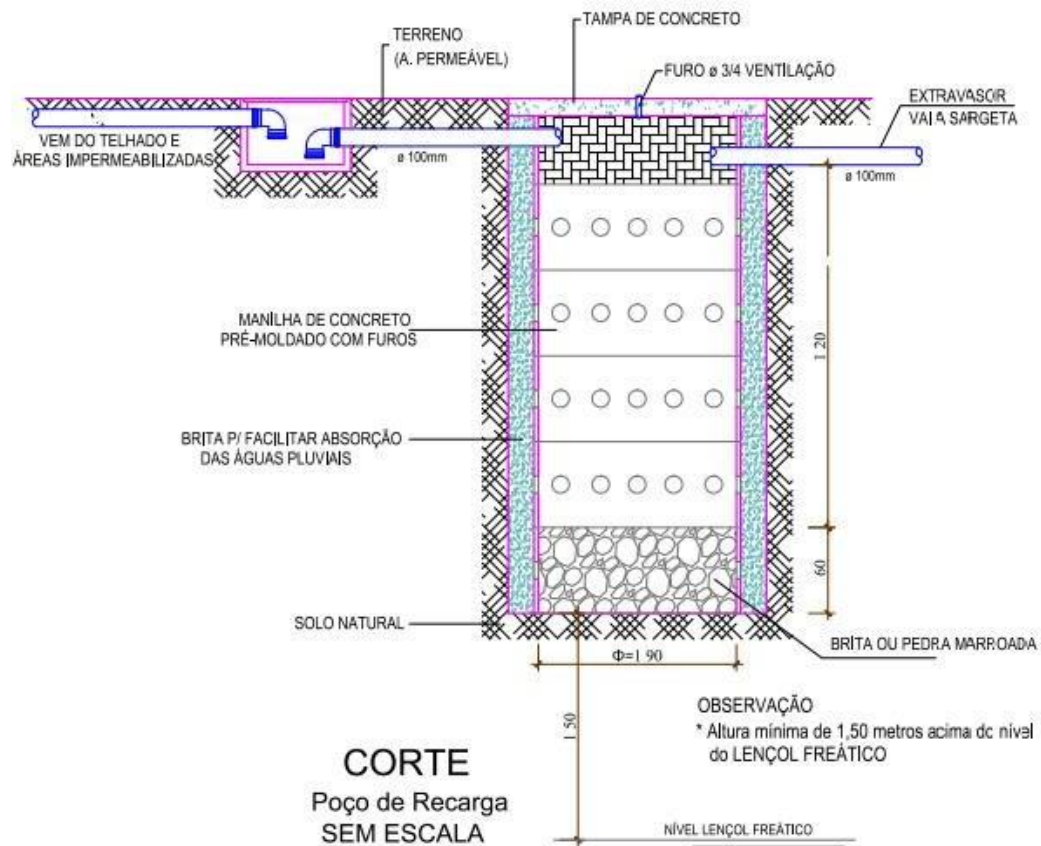
2.10.4 Poços de Infiltração

Os poços de infiltração, consistem em escavações no solo revestidas por tubos de concreto perfurados ou tijolos assentados em crivo, possuindo sua lateral e fundo preenchidos com brita envolta em geotêxtil e têm o objetivo de reter e infiltrar os excessos hídricos localizados, provenientes da microdrenagem (SOPU, 2020; ILHA, REIS, 2014). A Figura 19 e Figura 20 a seguir, exemplificam o detalhamento de um poço de infiltração.



Fonte: Adaptado PUC (2019). Disponível em:
<<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17803/material/DETALHE-PO%C3%87O-DE-RECARGA.pdf>>

Figura 20 - Corte do detalhamento do poço de infiltração



Fonte: Adaptado PUC (2019). Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17803/material/DETALHE-PO%C3%87O-DE-RECARGA.pdf>

Vale ressaltar as principais vantagens do dispositivo, que são: o baixo custo de execução e manutenção; pouca interferência na paisagem; melhor qualidade da água infiltrada sem riscos de contaminação, promovendo a recarga dos aquíferos. (LOURENÇO,2014).

CAPÍTULO 3 METODOLOGIA

Com a finalidade de comparar o sistema de drenagem urbana convencional com um sistema de drenagem urbana sustentável, foi desenvolvido um estudo de comparação entre os dois tipos de sistemas de drenagem citados, a eficiência e viabilidade técnica de ambos para um loteamento aberto. A principal intenção foi avaliar se há vantagens em se utilizar o sistema de drenagem sustentável, por meio da análise de parâmetros como vazão escoada, volume de água infiltrado, nº de bocas de lobo e diâmetro dos trechos da galeria. O projeto foi desenvolvido por meio do software AutoCad®, com o auxílio de planilhas eletrônicas, desenvolvidas com o software Excel®.

3.1 PROJETO DE REDE CONVENCIONAL DE DRENAGEM

3.1.1 Área de Estudo

A delimitação da área de estudo consistiu na busca de uma planta urbanística de um loteamento aberto, com a planta planialtimétrica da mesma área, priorizando regiões que já possuíam um projeto de drenagem realizado.

Nesse sentido, o Engenheiro Civil Renato Garin disponibilizou o projeto de um loteamento na área do setor Parque Brito na cidade de Jataí – GO. Optou-se por utilizar este projeto pela disponibilidade de informações, o que facilitou as seguintes etapas desse trabalho. No projeto disponibilizado inicialmente, estão dispostas as bocas de lobo já dimensionadas, ligadas às suas redes e poços de visita, suas respectivas áreas de contribuição e curvas de níveis.

3.1.2 Parâmetros Hidrológicos

Como a área de estudo do projeto escolhido se localiza em Jataí – GO, foram utilizados os parâmetros hidrológicos dessa região. Portanto, os parâmetros pluviométricos foram aferidos pelo PDDU de Jataí (SMAU, 2019), legislações municipais ou diretrizes técnicas emitidas pelas instituições que normatizam projetos de drenagem urbana da região.

Os parâmetros hidrológicos utilizados para o dimensionamento foram o tempo de concentração, considerando o tempo mínimo de 5 minutos indicado pelo PDDU (SMAU, 2019); o coeficiente de escoamento superficial considerado igual a 0,50, conforme PDDU (SMAU, 2019); o tempo de retorno de 2 anos para ocupações residenciais, conforme Tabela 1;

e a intensidade pluviométrica foi calculada pela Equação 14(13, fornecida pelo PDDU (SMAU, 2019), calibrada conforme dados de um posto pluviométrico da cidade de Jataí-GO, em que: i é a intensidade pluviométrica (mm/hr); t é o tempo de duração (em minutos); T_R é o tempo de retorno (em anos).

$$i = 926,0810 \cdot T_R^{0,1723} / (t + 10,4875)^{0,7501} \quad (13)$$

3.1.3 Delimitação das áreas de contribuição

As delimitações das áreas de contribuição foram determinadas conforme a topografia do terreno e pela análise do escoamento das águas, considerando a delimitação dos lotes e vias públicas, de forma que formassem uma área entorno das bocas de lobo, o que implica em direcionar o escoamento para esses dispositivos.

A princípio, o projeto fornecido pelo Engenheiro Civil Renato Garin, já possuía o traçado das áreas de contribuição, porém, houve a necessidade de adequação no projeto, porquanto, notou-se que poderia ser aprimorado a delimitação das áreas de contribuição e o redimensionamento das bocas de lobo de forma a reduzir a quantidade de dispositivos, conservando ainda, as necessidades de vazões do projeto com um menor número de dispositivos, tornando o projeto mais econômico.

3.1.4 Locação dos poços de visita e galerias

Para a locação dos poços de visitas, segundo o PDDU de Jataí - GO (SMAU, 2019), é necessário atender pontos em que ocorram o entroncamento entre diversas galerias, a ligação entre componentes de captação e a rede, a mudança de direção de canalizações, na declividade e mudança de diâmetro, sendo recomendado um espaçamento máximo de até 120 metros, viabilizando inspeções e futuras manutenções para um funcionamento adequado.

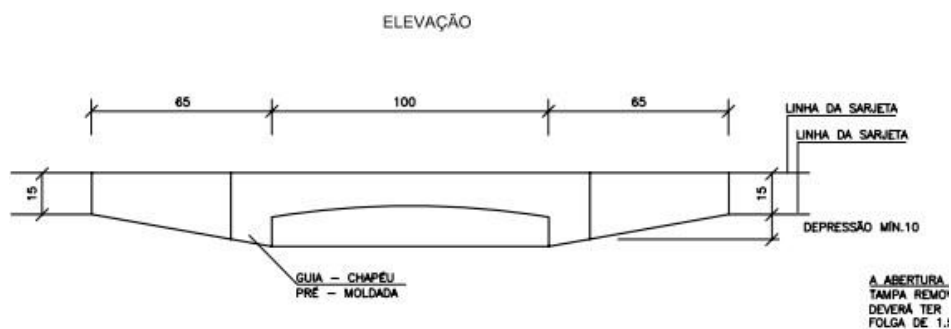
Desse modo, o projeto utilizado para esta pesquisa já possuía a locação dos poços de visita e o traçado da galeria, sendo necessário verificar se estava em conformidade com os critérios determinados pelo PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019).

3.1.5 Bocas de lobo

Segundo o PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), as bocas de lobo devem ser dispostas em pontos estratégicos, preferencialmente nos pontos baixos das quadras, com o intuito de prevenir o escoamento superficial excessivo, tendo um espaçamento máximo entre as bocas de lobo de 60 metros.

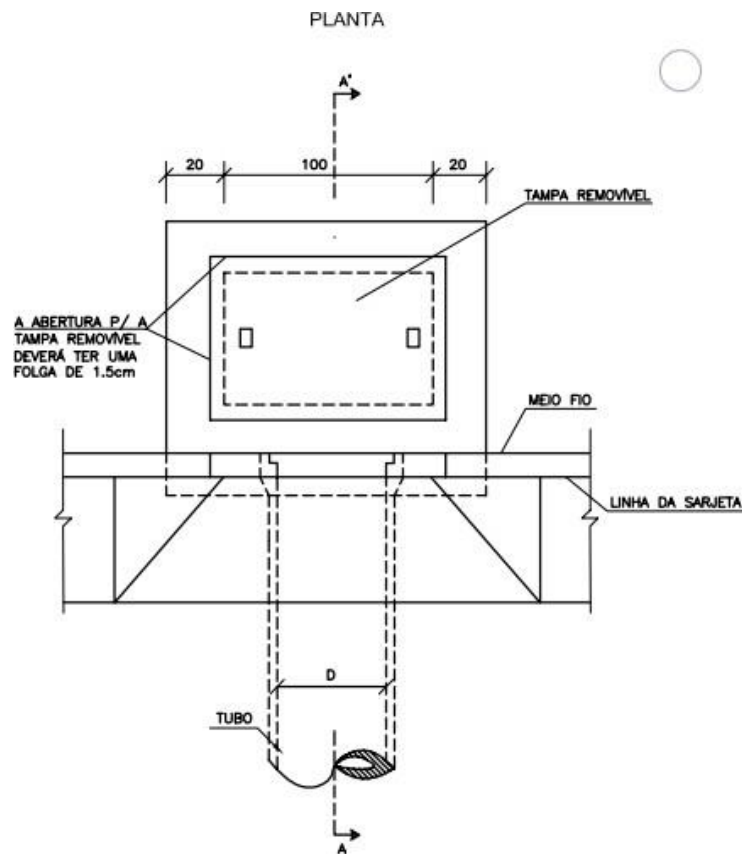
Para o dimensionamento das bocas de lobo é considerada a capacidade de engolimento, conforme o PDDU (SMAU, 2019). Para isto, foram considerados para este projeto os modelos padrão DNIT. O modelo adotado pelo DNIT (2018), é a boca de lobo simples combinada com depressão e rasgo na guia. A Figura 21, Figura 22 e Figura 23 apresenta o modelo e cortes da boca de lobo adotada.

Figura 21 - Modelo de Boca de Lobo Simples



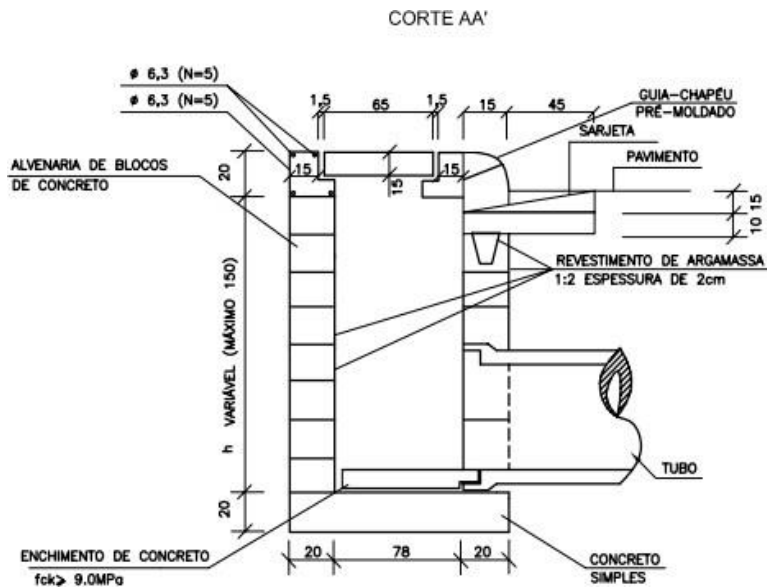
Fonte: Adaptado DNIT (2018)

Figura 22 - Planta de Boca de Lobo Simples



Fonte: Adaptado DNIT (2018)

Figura 23 - Corte AA' da Boca de Lobo Simples



Fonte: Adaptado DNIT (2018)

Para o cálculo da vazão capaz de ser escoada pela boca de lobo foi utilizada Equação 13(14) para a boca de lobo com o rasgo na guia, do PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), em que: Q é a vazão de engolimento (m^3/s); A é a área útil da grade (m^2); L é o comprimento da soleira (m); y é a altura de água próxima a abertura na guia (m).

$$Q = 1,7 \cdot L \cdot y^{3/2} \quad (14)$$

Para o cálculo da vazão de projeto a ser escoada por cada trecho, foi usado o método racional, conforme a Equação 15 abaixo(15, em que: Q_c é a vazão de projeto (m^3/s); C é o coeficiente de escoamento superficial (adim.); i é a intensidade pluviométrica (m/s); A_c é a área de contribuição de cada trecho considerado (m^2). Foi considerado um coeficiente de escoamento superficial de 0,5, conforme recomendação do PDDU (SMAU, 2019).

$$Q_c = C \cdot i \cdot A_c \quad (15)$$

3.1.6 Dimensionamento da rede de drenagem

Conforme os critérios de dimensionamento das redes estabelecido pelo PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), deve-se definir as áreas de contribuição, preferencialmente, posicionando a rede de drenagem no eixo da via pública, para evitar possíveis interferências com outras canalizações de serviços públicos.

Para o dimensionamento das galerias, o PDDU (SMAU, 2019) estabelece que as mesmas podem ser projetadas para funcionamento em seção plena. Apesar disso, foi considerada, por segurança, uma lâmina líquida relativa máxima de 75%, recomendado também por Fernández e Azevedo Netto (2015). Conforme o referido manual, a velocidade máxima dentro dos condutos é de 5 m/s, a velocidade mínima é de 0,6 m/s, o recobrimento mínimo de um metro e o diâmetro mínimo dos condutos de 0,30 metros.

Os parâmetros hidrológicos utilizados para o dimensionamento foram o tempo de concentração, calculado pela Equação 16, fornecido pelo PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019), em que: t_c = tempo de concentração (min); L_i = comprimento de cada trecho (m) ; v_i = velocidade de escoamento em cada trecho (m/s). O tempo de retorno é de dois anos para ocupações residenciais, conforme Tabela 1; e a intensidade pluviométrica calculada pela Equação 14(13).

$$t_c = (1/60) \cdot \sum(L_i/v_i) \quad (16)$$

No projeto não foi avaliado e nem identificado o corpo receptor, portanto, o traçado da galeria encaminha as águas para os pontos mais baixos da bacia.

3.2 PROJETO DE REDE SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM

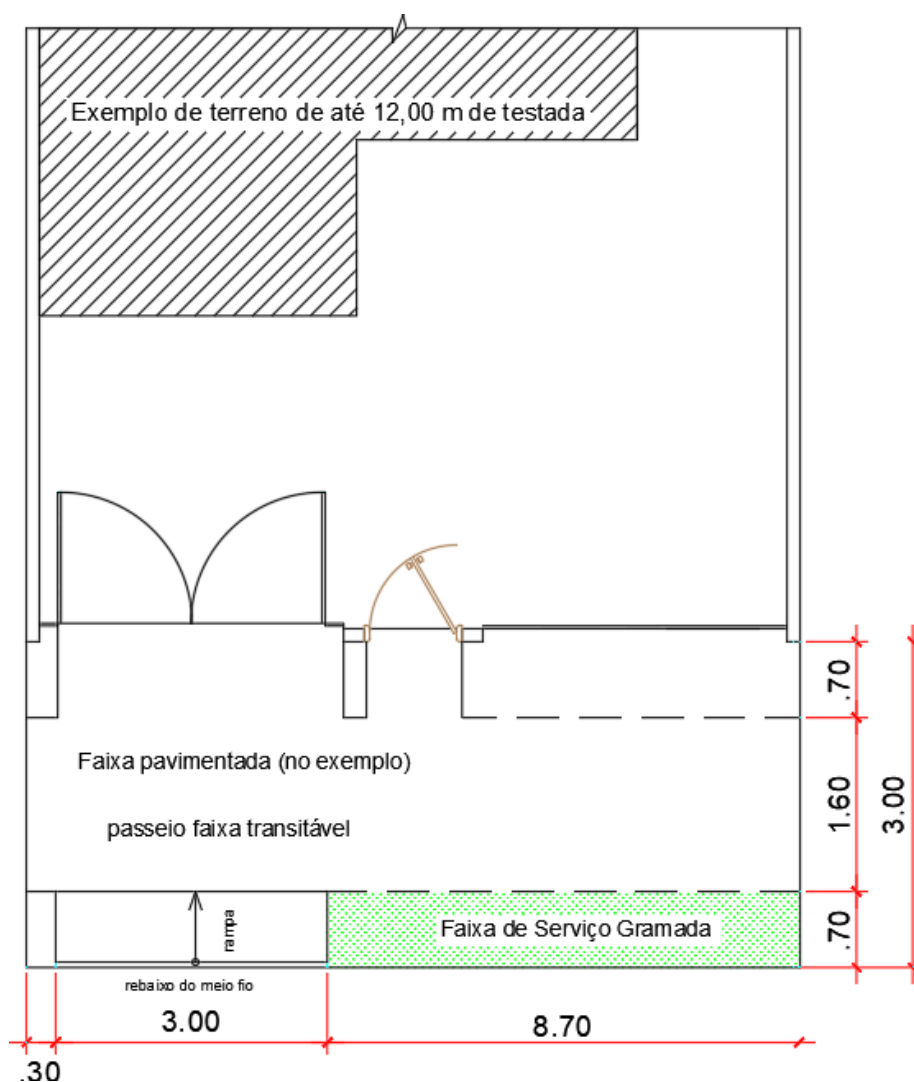
Para o projeto de drenagem urbana sustentável foi adotada a solução de um sistema de drenagem na fonte que, segundo Ilha e Reis (2014), propõe restabelecer o equilíbrio do balanço hídrico na área a ser ocupada a partir da infiltração da água pluvial, redução e a retenção do escoamento superficial. Com esse objetivo, optou-se pela implementação de poços de infiltração e a utilização de áreas de serviço nos passeios das calçadas, como já previsto no Plano Diretor da Cidade (SMOPU, 2020).

Vale evidenciar que as técnicas de controle na origem de águas pluviais consistem, segundo Lourenço (2014), de um conjunto de técnicas de controle a montante do sistema físico, que é a rede de coletores, e que influem a nível da bacia de drenagem, permitindo a redução do volume e escoamento superficial através de processos de retenção, infiltração ou mistos. Uma de suas principais finalidades é promover a retenção ou armazenamento temporário da água precipitada e propiciar a infiltração no solo, sendo esta última de grande relevância pois preserva aspectos sociais, públicos e ambientais, atendendo a redução de volumes de escoamento a jusante (LOURENÇO, 2014).

A opção sustentável adotada para as calçadas é o uso da área de serviço permeável do passeio, de forma que seja possível receber o escoamento das calçadas, estabelecido pela Lei Municipal nº 3.067/2010 de 28 de junho de 2010 (SOPU, 2020), a qual prevê que nas calçadas

com larguras acima de 2,50 metros, é necessário a existência de faixas ajardinadas ou gramadas, com largura de 0,70 metros. A prefeitura de Jataí disponibiliza em seu site os modelos de calçadas para cada tipo de edificação. A Figura 24 apresenta o modelo adotado para o projeto.

Figura 24 - Modelo de Calçada



Fonte: Adaptado (SOPU, 2020). Disponível em: <https://www.jatai.go.gov.br/secretaria-de-obras-e-planejamento-urbano/documentos-e-arquivos/>

O modelo de calçada adotado é uma simplificação de implantação das faixas de serviços, uma vez que os lotes se diferenciam nas dimensões, como por exemplo, lotes de esquinas, os quais necessitam de uma área maior de faixa de serviço, abrangendo a testada e lateral. Foi adotado para os cálculos, 14,3% para a área permeável, correspondente à faixa de serviço conforme modelo disponibilizado pela Prefeitura de Jataí (SOPU,2020), e 85,7% da

área pavimentada em relação à área total da calçada. Essas porcentagens foram utilizadas no cálculo da média ponderada do coeficiente de escoamento superficial.

3.2.1 Poços de infiltração

O dimensionamento realizado para esta pesquisa foi feito pelas Equação 17 e a Equação 18, onde: A_{inf} = área de infiltração de água (m^2); A = Área de contribuição (m^2); C = coeficiente de escoamento superficial (adim.); I = Intensidade pluviométrica (mm/min); t_c = tempo de concentração (s); D = diâmetro do poço (m); k = coeficiente de permeabilidade do solo (m/s); C_s = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade (adim.); h = altura do poço (m).

$$A_{inf} = \frac{A \cdot C \cdot I \cdot t_c}{\left(\frac{D}{4} + k \cdot C_s \cdot t_c\right) \cdot 60000} \quad (17)$$

$$h = \frac{A_{inf}}{\pi \cdot D} \quad (18)$$

A Equação 17(17) foi adaptada do Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal, Yazaki, Montenegro e Costa (2018), em que foi considerada a infiltração apenas na área lateral do poço devido à colmatagem do fundo e desconsiderado o coeficiente de segurança da precipitação, uma vez que, no cálculo da intensidade pluviométrica, já é considerada a chuva crítica do tempo de retorno em questão.

Destaca-se que o dimensionamento dos poços de infiltração foi realizado com o intuito de verificar sua viabilidade, tendo em vista principalmente a profundidade resultante que, possuindo valores muito altos, poderia inviabilizar essa alternativa.

CAPÍTULO 4 DESENVOLVIMENTO DOS PROJETOS

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada para o desenvolvimento da pesquisa foi a de um loteamento urbano denominado Setor Parque Brito, a ser implantado na cidade de Jataí – GO. A Figura 25 apresenta a localização do loteamento estudado.

Figura 25 - Localização do setor Parque Brito



Fonte: Google Earth (2022).

O loteamento possui uma área total de 134.272 m², na qual 74.826 m² corresponde às áreas dos lotes e 45.160 m² às áreas das vias públicas.

4.2 PROJETO DE REDE DE DRENAGEM CONVENCIONAL

4.2.1 Área de Contribuição

As adequações das áreas de contribuição foram determinadas conforme a topografia do terreno e pela análise do escoamento das águas, considerando a delimitação dos lotes e vias

públicas, de forma que formassem uma área entorno das bocas de lobo, o que implica em direcionar o escoamento para esses dispositivos. A Figura 26, apresenta uma ilustração das curvas de nível do projeto, o qual foi considerado para o definir as áreas de contribuição, seus valores e detalhamento estão representados no Anexo A e B.

Figura 26 - Representação das curvas de nível do projeto em estudo



Fonte: Autoria Própria (2022)

A partir destas curvas de nível, foram delimitadas as áreas de contribuição, como apresentado na Figura 27 abaixo.

Figura 27 - Delimitação das Áreas de Contribuição



A Tabela 6 apresenta os valores das áreas de contribuição, em metros quadrados, extraídas do projeto de drenagem urbana convencional.

Tabela 6 - Áreas de Contribuição do Projeto de Drenagem Urbana Convencional.

Nº Área	Área de Contribuição (m²)	Nº Área	Área de Contribuição (m²)	Nº Área	Área de Contribuição (m²)	Nº Área	Área de Contribuição (m²)
1	7774,92	11	4817,17	21	2579,35	31	4457,29
2	5010,47	12	2443,61	22	2924,09	32	2797,10
3	2337,57	13	5289,81	23	2743,97	33	4802,67
4	4718,59	14	2559,49	24	5739,89	34	2742,00
5	2406,90	15'	2670,59	25	2022,68	35	3006,21
6	4839,16	16	2568,79	26	3378,15	36	2679,74
7	2410,09	17	2664,88	27	2160,14	37	5943,79
8	4178,22	18	5776,29	28	3086,39	38	1693,64
9	2278,79	19	2674,67	29	1423,88		
10	4335,16	20	5403,77	30	2894,75		

Fonte: Autoria Própria

4.2.2 Locação dos Poços de Visitas e Galerias

As locações dos poços de visitas foram realizadas conforme as determinações do PDDU de Jataí – GO (SMAU, 2019). Na Figura 28, está representada uma ilustração da locação dos poços de visitas e o traçado das galerias, no qual, estão detalhados no Anexo A e B.

Figura 28 - Representação do posicionamento dos Poços de Visita e traçado das galerias



Fonte: Autoria Própria

Destaca-se que tanto o posicionamento dos poços de visita quanto o traçado das galerias foram aproveitados do projeto original.

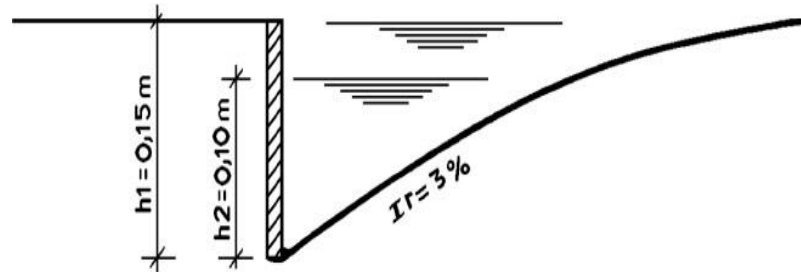
4.2.3 Dimensionamento de Bocas de Lobo e Rede de Drenagem

Como já mencionado no item 3.1.5, a boca de lobo escolhida foi a boca de lobo simples combinada com depressão e rasgo na guia. O valor encontrado para a vazão de escoamento desse dispositivo foi de $0,099 \text{ m}^3/\text{s}$, multiplicado pelo valor do coeficiente de redução para bocas de lobo combinada de 0,65 sugerido pelo PDDU de Jataí-GO (SMAU, 2019). Além disso, considerou-se uma depressão de 0,10 metros e a altura da lâmina líquida preenchendo 80% da altura da guia.

O valor adotado para a altura na sarjeta (y), considera a hipótese de a água escorrer apenas pelo dispositivo mencionado, admitindo uma declividade de 3% e a altura da lâmina líquida de 0,10 metros, conforme o PDDU de Jataí - GO (SMAU, 2019) e está representado na

Figura 29. Além disso, foi considerado um coeficiente de redução de 0,65, segundo recomendações do mesmo manual.

Figura 29 - Altura da Sarjeta



Fonte: PDDU de Jataí/GO (SMAU, 2019)

Na Figura 30 está apresentado o posicionamento e a quantidade de bocas de lobo dispostas no projeto, o seu detalhamento está especificado nos projetos do Anexo A e B.

Figura 30 - Posicionamento das Bocas e Lobo



Fonte: Autoria Própria

Para os tubos de ligação entre as bocas de lobo e poços de visitas a declividade a ser considerada foi em função das cotas de nível do terreno e a declividade mínima de 1%, conforme o PDDU de Jatai – GO (SMAU, 2019).

A Tabela 7 a seguir, apresenta o dimensionamento das bocas de lobo e tubos de ligação.

Em seguida, a Tabela 8 apresenta o dimensionamento calculado para a galerias do projeto. O traçado da rede de drenagem está detalhado na planta no Anexo A e B.

Tabela 7 - Dimensionamento de Bocas de Lobo e dos tubos de ligação

Trecho	Ct (m)	Cf (m)	Ac (m ²)	Qc (m ³ /s)	Seção		L (m)	i (%)	v (m/s)	N (unid.)
	Montante (m)				Dc (m)	Dcm (m)				
BL1	803,21	801,71	7781,78	0,144	0,39	0,40	10,48	1,00	1,59	2,00
BL2	803,21	801,71	5014,63	0,09	0,39	0,40	10,04	1,00	1,44	1,00
BL3	801,64	800,14	2337,57	0,04	0,39	0,40	10,28	1,00	1,18	1,00
BL4	801,88	800,38	4708,00	0,09	0,39	0,40	10,85	1,89	1,81	1,00
BL5	800,18	798,68	2406,90	0,04	0,39	0,40	12,26	1,10	1,23	1,00
BL6	800,04	798,54	4858,15	0,09	0,59	0,60	11,28	1,00	1,40	1,00
BL7	798,15	796,65	2410,09	0,04	0,39	0,40	10,61	1,00	1,19	1,00
BL8	798,34	796,84	4183,71	0,08	0,39	0,40	10,41	1,72	1,68	1,00
BL9	796,55	795,05	2278,79	0,04	0,39	0,40	10,47	1,32	1,29	1,00
BL10	796,45	794,95	4320,53	0,08	0,39	0,40	10,73	1,00	1,40	1,00
BL11	799,90	798,40	4736,43	0,09	0,39	0,40	11,89	4,50	2,51	1,00
BL12	797,92	796,42	2443,61	0,05	0,39	0,40	11,82	1,00	1,19	1,00
BL13	798,97	797,47	5289,81	0,10	0,39	0,40	12,25	5,56	2,75	1,00
BL14	796,62	795,12	2559,49	0,05	0,39	0,40	13,19	1,00	1,21	1,00
BL15	797,17	795,67	2639,70	0,05	0,39	0,40	12,29	4,25	2,07	1,00
BL16	799,43	797,93	2599,26	0,05	0,39	0,40	5,79	1,00	1,20	1,00
BL17	795,27	793,77	2664,88	0,05	0,39	0,40	13,44	1,00	1,22	1,00
BL18	795,60	794,10	5776,29	0,11	0,39	0,40	12,52	2,06	1,96	2,00
BL19	793,83	792,33	2674,67	0,05	0,39	0,40	12,18	1,00	1,22	1,00
BL20	794,10	792,60	5403,77	0,10	0,39	0,40	11,54	2,02	1,91	2,00
BL21	792,18	790,68	2579,35	0,05	0,39	0,40	11,88	1,00	1,21	1,00
BL22	792,51	791,01	2924,09	0,05	0,39	0,40	11,84	4,65	2,18	1,00
BL23	794,55	793,05	2734,14	0,05	0,39	0,40	5,86	1,00	1,24	1,00
BL24	793,76	792,26	5738,77	0,11	0,59	0,60	5,40	1,00	1,47	2,00
BL25	795,01	793,51	2041,21	0,04	0,39	0,40	10,63	8,00	2,36	1,00
BL26	791,07	789,57	2743,31	0,06	0,39	0,40	5,17	1,00	1,52	1,00
BL27	792,36	790,86	2766,30	0,04	0,39	0,40	10,83	8,00	2,03	1,00
BL28	789,27	787,77	3086,39	0,06	0,39	0,40	5,24	1,00	1,27	1,00
BL29	794,05	792,55	1423,88	0,03	0,39	0,40	6,45	2,67	1,45	1,00
BL30	787,66	786,16	2894,75	0,05	0,39	0,40	5,10	1,00	1,25	1,00
BL31	788,61	787,11	4498,11	0,08	0,39	0,40	11,22	6,26	2,72	1,00
BL32	785,94	784,44	2823,67	0,05	0,39	0,40	5,23	1,00	1,23	1,00
BL33	787,06	785,56	4802,67	0,09	0,39	0,40	10,76	7,87	3,03	1,00
BL34	784,43	782,93	2742,00	0,05	0,39	0,40	4,71	1,00	1,23	1,00
BL35	785,25	783,75	3003,36	0,06	0,39	0,40	10,27	5,81	2,38	1,00
BL36	788,81	787,31	2679,74	0,05	0,39	0,40	5,65	1,17	1,30	1,00
BL37	798,97	797,47	5974,70	0,11	0,39	0,40	12,01	1,00	1,50	2,00
BL38	790,70	789,20	1723,35	0,03	0,39	0,40	10,10	8,00	2,22	1,00

Legenda: Coeficiente de Escoamento Superficial: 0,5; Tempo de Concentração: 5 minutos; Intensidade pluviométrica: 2,23 (mm/min); Coeficiente de Manning: 0,015; Ct: Cota do Terreno (m); Cf: Cota do Fundo da boca de lobo (m); Ac: Área de Contribuição (m²); Qc: Vazão Calculada (m³/s); Dc = Diâmetro Calculado (m); Dcm: Diâmetro Comercial (m); L: Comprimento dos tubos de ligação entre bocas de lobo e poços de visita (m); i: Declividade do Terreno (%); v: Velocidade (m/s); N: Quantidade de Bocas de Lobo (und.).

Fonte: Autoria Própria

Tabela 8 - Dimensionamento da Rede

Trecho	Ct		Ac (m²)		Ac (m²)	Tc	I	Qc	Am	Pm	Qa	Dc	Dcm	L	i	v	AL	Y/D	Prof. PV	
	M (m)	J (m)	Prim.	Sec.															M	J
PV01-PV02	803,14	801,68	12785,39	0,00	12785	5,11	2,22	0,24	0,09	0,76	0,24	0,60	0,60	63,00	2,75	2,61	0,21	0,36	1,72	2,00
PV02-PV03	801,68	799,50	7056,16	12785,39	19842	5,51	2,17	0,36	0,12	0,86	0,36	0,60	0,60	61,36	3,11	3,07	0,26	0,43	2,00	1,73
PV03-PV04	799,50	796,68	2568,79	19841,55	22410	5,85	2,14	0,40	0,11	0,83	0,40	0,59	0,60	61,35	4,59	3,57	0,25	0,42	1,73	1,72
PV05-PV06	799,37	798,29	10760,96	0,00	10761	5,08	2,22	0,20	0,10	0,82	0,20	0,59	0,60	63,00	1,25	1,81	0,25	0,41	1,93	1,90
PV06-PV04	798,29	796,68	7733,41	10760,96	18494	5,66	2,16	0,33	0,13	0,89	0,33	0,60	0,60	63,00	2,13	2,62	0,28	0,46	1,90	1,72
PV04-PV07	796,68	793,88	5230,08	40904,72	46135	6,13	2,11	0,81	0,16	1,02	0,81	0,59	0,60	44,45	6,30	4,76	0,35	0,58	1,72	2,98
PV07-PV08	793,88	789,69	1423,88	46134,80	47559	6,29	2,10	0,83	0,15	0,98	0,83	0,57	0,60	44,45	8,00	5,00	0,34	0,57	2,98	2,14
PV09-PV10	794,12	791,34	7762,56	0,00	7763	5,06	2,22	0,14	0,05	0,62	0,14	0,58	0,60	63,26	4,10	2,50	0,15	0,26	1,87	2,05
PV10-PV08	791,34	789,69	5538,29	7762,56	13301	5,48	2,18	0,24	0,09	0,78	0,24	0,64	0,80	63,55	2,74	1,71	0,26	0,32	2,05	2,14
PV08-PV11	789,69	787,92	4780,03	60859,53	65640	6,44	2,08	1,14	0,29	1,36	1,14	0,77	0,80	66,40	2,67	3,63	0,48	0,60	2,14	2,23
PV11-PV12	787,92	786,22	7392,86	65639,56	73032	5,13	2,21	1,35	0,32	1,44	1,25	0,80	0,80	66,40	2,46	4,10	0,50	0,62	2,23	2,05
PV12-PV13	786,22	784,67	7626,34	73032,42	80659	5,40	2,19	1,47	0,32	1,44	1,36	0,80	0,80	63,87	2,97	4,56	0,49	0,61	2,05	2,45
PV14-PV15	800,05	798,16	7246,06	0,00	7246	5,13	2,21	0,13	0,05	0,62	0,13	0,57	0,60	65,50	3,53	2,27	0,16	0,26	1,73	2,15
PV15-PV16	798,16	796,42	6588,31	7246,06	13834	5,62	2,16	0,25	0,10	0,80	0,25	0,50	0,60	63,00	2,10	1,72	0,31	0,51	2,15	1,73
PV16-PV17	796,42	794,55	6613,95	13834,37	20448	6,23	2,10	0,36	0,12	0,87	0,36	0,47	0,60	61,36	3,04	1,91	0,38	0,63	1,73	1,73
PV17-PV18	794,55	792,21	2743,97	20448,31	23192	6,76	2,05	0,40	0,12	0,86	0,40	0,59	0,60	61,35	3,81	3,36	0,26	0,44	1,73	2,00
PV19-PV20	795,35	793,87	8441,18	0,00	8441	5,11	2,22	0,16	0,07	0,67	0,16	0,49	0,60	65,50	2,25	1,48	0,24	0,40	1,73	1,84
PV20-PV18	793,87	792,21	8078,44	8441,18	16520	5,85	2,14	0,29	0,10	0,79	0,29	0,47	0,60	63,00	3,16	1,81	0,34	0,56	1,84	2,00
PV18-PV21	792,21	788,75	5503,44	39711,90	45215	7,06	2,03	0,76	0,17	1,04	0,76	0,60	0,60	60,60	5,03	4,40	0,35	0,59	2,00	1,73
PV21-PV13	788,75	784,67	2679,74	45215,34	47895	7,29	2,01	0,80	0,16	1,01	0,80	0,57	0,60	60,59	6,73	4,51	0,36	0,60	1,73	2,45
PV13-LANÇAMENTO	784,67	782,16	5748,22	128553,83	134302	7,52	1,99	2,23	0,59	2,02	2,23	0,97	1,00	80,79	1,66	3,52	0,75	0,75	2,45	1,50

Legenda: Coeficiente de Escoamento Superficial: 0,5; Tc: Tempo de Concentração; Coeficiente de Manning: 0,015; Ct: Cota do Terreno (m); M: Montante (m); J: Jusante (m); Cf: Cota do Fundo (m); Ac: Área de Contribuição (m²); I: Intensidade de Chuva (mm/min); Qc: Vazão Calculada (m³/s); Am: Área Molhada (m²); Pm: Perímetro Molhado (m); Qa: Vazão Analisada (m³/s); Dc: Diâmetro Calculado (m); Dcm: Diâmetro Comercial (m); L: Comprimento do Trecho (m); i: Declividade do Terreno (%); v: Velocidade (m/s); N: Quantidade de Bocas de Lobo (und.); AL: altura da lâmina.

Fonte: Autoria Própria

4.3 PROJETO DE REDE SUSTENTÁVEL DE DRENAGEM

Como mencionado no item 3.2, a escolha para o projeto de drenagem sustentável se tratou de utilização de poços de infiltração intralote, além da consideração da faixa de serviço gramada exigida pela prefeitura da cidade de Jataí, estabelecido pela Lei Municipal nº 3.067/2010 de 28 de junho de 2010 (SOPU, 2020), que trata de uma parcela do passeio obrigatoriamente constituída de solo permeável, portanto favorecendo a infiltração de águas pluviais.

4.3.1 Poços de Infiltração

O Código de Edificações e Obras da cidade (JATAÍ, 2020) estabelece mecanismos de controle da drenagem urbana das águas pluviais no qual o escoamento das águas pluviais do lote edificado deverá ser retido e/ou infiltrado dentro do próprio lote, proibindo o lançamento de águas pluviais para as calçadas ou vias, sendo que as águas pluviais provenientes de telhados deverão ter uma captação de forma que sejam conduzidas para a estrutura de dissipação de energia e infiltradas dentro do lote. Uma das opções estabelecidas, são os poços de infiltração.

O primeiro cálculo para o dimensionamento do projeto sustentável consistiu em separar, em cada área de contribuição, as áreas dos lotes, calçadas e ruas, atribuindo coeficientes de escoamento superficial conforme cada tipo de superfície segundo a Tabela 2. Com base nessas áreas, foi calculada uma média ponderada para obter um novo coeficiente de escoamento superficial resultante de 0,49, conforme a Equação 4. Esse novo coeficiente foi utilizado para dimensionar um novo projeto de drenagem urbana convencional, e possibilitar a comparação com o projeto inicial. Para este cálculo, não foram consideradas as áreas impermeáveis dos lotes, pois estas serão direcionadas para os poços de infiltração. A Tabela 9 apresenta todas as áreas consideradas.

Tabela 9 - Áreas consideradas no dimensionamento

	AC	A.C.T	A.T.L	A.L.I.	A.L.P	A.T.R	A.T.P	A.P.P	A.P.I
C	-	-	-	-	0,05	0,7	-	0,05	0,7
	A1	7774,92	3211,15	2140,77	1070,38	3631,95	934,86	133,68	801,17
	A2	5010,47	3130,40	2086,93	1043,47	1310,42	577,85	82,63	495,22
	A3	2337,57	1541,13	1027,42	513,71	524,62	276,38	39,52	236,85
	A4	4718,59	2957,48	1971,65	985,83	1218,38	525,21	75,11	450,1
	A5	2406,90	1570,11	1046,74	523,37	547,65	284,16	40,64	243,53
	A6	4839,16	2786,91	1857,94	928,97	1483,68	599,79	85,77	514,02
	A7	2410,09	1556,55	1037,70	518,85	558,77	277,32	39,66	237,67
	A8	4178,22	2592,57	1728,38	864,19	1089,01	503,68	72,03	431,65
	A9	2278,79	1445,13	963,42	481,71	541,17	292,32	41,80	250,52
	A10	4320,53	2525,01	1683,34	841,67	1242,36	552,05	78,94	473,11
	A11	4736,43	3175,34	2116,89	1058,45	982,75	579,23	82,83	496,40
	A12	2443,61	1515,55	1010,37	505,18	637,98	285,90	40,88	245,02
	A13	5289,81	3792,88	2528,59	1264,29	924,18	576,33	82,41	493,91
	A14	2559,49	1537,02	1024,68	512,34	705,28	317,17	45,35	271,81
	A15	2639,70	1887,53	1258,36	629,18	476,97	270,16	38,63	231,53
	A16	2599,26	1876,45	1250,97	625,48	440,43	277,66	39,71	237,96
	A17	2664,88	1583,57	1055,71	527,86	741,00	339,32	48,52	290,80
	A18	5776,29	3750,70	2500,47	a1250,23	1363,62	661,23	94,56	566,67
	A19	2674,67	1587,95	1058,64	529,32	746,63	342,39	48,96	293,43
	A20	5403,77	3916,12	2610,75	1305,37	916,00	586,32	83,84	502,47
	A21	2579,35	1548,30	1032,20	516,10	708,94	325,20	46,50	278,70
	A22	2924,09	2109,21	1406,14	703,07	526,93	292,60	41,84	250,76
	A23	2734,14	1988,34	1325,56	662,78	469,58	277,23	39,64	237,59
	A24	5738,77	1450,00	966,67	483,33	3959,70	326,23	46,65	279,58
	A25	2041,21	1224,40	816,27	408,13	514,88	305,95	43,75	262,20
	A26	3378,15	955,09	636,73	318,36	2270,73	133,20	19,05	114,15
	A27	2160,14	1201,11	800,74	400,37	615,27	334,57	47,84	286,73
	A28	3086,39	650,46	433,64	216,82	2260,07	164,79	23,56	141,23
	A29	1423,88	901,74	601,16	300,58	339,74	188,71	26,99	161,73
	A30	2894,75	434,05	289,37	144,68	2323,83	149,29	21,35	127,94
	A31	4498,11	2817,56	1878,37	939,19	1143,40	534,43	76,42	458,00
	A32	2823,67	378,37	252,25	126,12	2321,13	122,98	17,59	105,39
	A33	4802,67	3394,02	2262,68	1131,34	859,52	495,54	70,86	424,68
	A34	2742,00	349,28	232,86	116,43	2272,55	125,12	17,89	107,23
	A35	3003,36	2214,12	1476,08	738,04	488,39	297,23	42,50	254,73
	A36	2679,74	1874,10	1249,40	624,70	500,95	279,38	39,95	239,43
	A37	5974,70	2182,20	1454,80	727,40	3166,95	625,99	89,52	536,47
	A38	1723,35	1214,07	809,38	404,69	334,66	189,48	27,10	162,38

C: coeficiente de escoamento superficial (adm.); A.C.: Área de contribuição; A.C.T.: Área de Contribuição Total; A.C.L.: área total dos lotes relacionado a cada A.C. (m²); A.L.I.: 2/3 da área do lote destinada para área impermeável (m²); A.L.P.: 1/3 da área do lote destinada a área permeável (m²); A.T.R.: área total das ruas em relação a cada A.C. (m²); A.T.P.: área total dos passeios; A.P.P.: área do passeio permeável (m²); A.P.I.: área de passeio impermeável (m²).

Fonte: Autoria Própria

Em relação às áreas dos lotes, foi considerado 2/3 da área do lote para áreas impermeáveis e 1/3 para áreas permeáveis, conforme a Lei de Uso e Ocupação (JATAÍ, 2010).

Adotou-se um coeficiente de escoamento superficial, para uma área de lote impermeabilizada, igual a 0,95 conforme a Tabela 2. A área adotada foi de 2/3 em relação ao maior lote, com uma área igual a 425 m². A intensidade pluviométrica foi calculada pela Equação 14(13, o coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade (C_s) foi considerado igual a 0,5 e o coeficiente de permeabilidade do solo (k) considerando a média dos valores dos solos argilosos, conforme Tabela 10:

Tabela 10 - Absorção Relativa do Solo

Tipos de solos	Coeficiente de infiltração litros/m² x dia	Absorção relativa
Areia bem selecionada e limpa, variando a areia grossa com cascalho.	Maior que 90	Rápida
Areia fina ou silte argiloso ou solo arenoso com humos e turfas, variando a solos constituídos predominantemente de areia e silte.	60 a 90	Média
Argila arenosa e/ou siltosa, variando a areia argilosa ou silte argiloso de cor amarela, vermelha ou marrom.	40 a 60	Vagarosa
Argila de cor amarela, vermelha ou marrom medianamente compacta, variando a argila pouco siltosa e/ou arenosa.	20 a 40	Semi-impermeável
Rocha, argila compacta de cor branca, cinza ou preta, variando a rocha alterada e argila medianamente compacta de cor avermelhada.	Menor que 20	Impermeável

Fonte: FUNASA (2019)

A Tabela 11 apresenta os dados utilizados para o cálculo.

Tabela 11 - Dados utilizados para o cálculo da Área de Infiltração

t(s)	300,00
A (m²)	282,89
C	0,95
I (mm/min)	2,23
k	5,79E-07
Cs	0,50
D	1,50
t_c = tempo de concentração (s); A = área do lote considerada (m ²); C = coeficiente de escoamento superficial; I = intensidade pluviométrica (mm/min); k = coeficiente de permeabilidade do solo (m ³ /m ² x s); Cs = coeficiente de segurança de redução do coeficiente de permeabilidade (adm.); D = diâmetro considerado (m).	

Fonte: Autoria Própria

Para o cálculo da altura do poço de infiltração, foi considerado um diâmetro igual a 1,50 metros. Com esses cálculos obtemos uma área de infiltração de aproximadamente 8 metros quadrados com altura de 1,70 metros.

Com base nestes cálculos, a Tabela 12 apresenta o novo dimensionamento das bocas de lobo e a Tabela 13 o da rede de drenagem, considerando o novo coeficiente de escoamento superficial. Os projetos de drenagem urbana convencional e o de drenagem urbana sustentável são apresentados no Anexo A e Anexo B, respectivamente.

Tabela 12 - Dimensionamento Bocas de Lobo

Trecho	Ct (m)	Cf (m)	Ac (m²)	Seção		L (m)	i (%)	v (m/s)	N (unid.)
				Dc (m)	Dcm (m)				
BL1	803,21	801,71	5637,19	0,39	0,40	10,48	1,00	1,482	2,00
BL2	803,21	801,71	2931,74	0,39	0,40	10,04	1,00	1,25	1,00
BL3	801,64	800,14	1314,71	0,39	0,40	10,28	1,00	1,00	1,00
BL4	801,88	800,38	2729,42	0,39	0,40	10,85	1,89	1,54	1,00
BL5	800,18	798,68	1355,18	0,39	0,40	12,26	1,10	1,04	1,00
BL6	800,04	798,54	3012,44	0,59	0,60	11,28	1,00	1,21	1,00
BL7	798,15	796,65	1354,94	0,39	0,40	10,61	1,00	1,01	1,00
BL8	798,34	796,84	2456,88	0,39	0,40	10,41	1,72	1,45	1,00
BL9	796,55	795,05	1315,20	0,39	0,40	10,47	1,32	1,10	1,00
BL10	796,45	794,95	2636,08	0,39	0,40	10,73	1,00	1,21	1,00
BL11	799,90	798,40	2620,43	0,39	0,40	11,89	4,50	2,08	1,00
BL12	797,92	796,42	1429,07	0,39	0,40	11,82	1,00	1,02	1,00
BL13	798,97	797,47	2764,80	0,39	0,40	12,25	5,56	2,27	1,00
BL14	796,62	795,12	1534,79	0,39	0,40	13,19	1,00	1,04	1,00
BL15	797,17	795,67	1376,31	0,39	0,40	12,29	4,25	1,69	1,00
BL16	799,43	797,93	1343,57	0,39	0,40	5,79	1,00	1,00	1,00
BL17	795,27	793,77	1608,17	0,39	0,40	13,44	1,00	1,06	1,00
BL18	795,60	794,10	3275,08	0,39	0,40	12,52	2,06	1,67	1,00
BL19	793,83	792,33	1618,34	0,39	0,40	12,18	1,00	1,06	1,00
BL20	794,10	792,60	2807,69	0,39	0,40	11,54	2,02	1,57	1,00
BL21	792,18	790,68	1550,24	0,39	0,40	11,88	1,00	1,03	1,00
BL22	792,51	791,01	1522,60	0,39	0,40	11,84	4,65	1,77	1,00
BL23	794,55	793,05	1409,60	0,39	0,40	5,86	1,00	1,00	1,00
BL24	793,76	792,26	4769,26	0,39	0,40	5,40	1,00	1,40	1,00
BL25	795,01	793,51	1228,95	0,39	0,40	10,63	8,00	2,01	1,00
BL26	791,07	789,57	2722,29	0,39	0,40	5,17	1,00	1,21	1,00
BL27	792,36	790,86	1350,22	0,39	0,40	10,83	8,00	2,06	1,00
BL28	789,27	787,77	2641,68	0,39	0,40	5,24	1,00	1,20	1,00
BL29	794,05	792,55	829,04	0,39	0,40	6,45	2,67	1,21	1,00
BL30	787,66	786,16	2617,80	0,39	0,40	5,10	1,00	1,19	1,00
BL31	788,61	787,11	2617,02	0,39	0,40	11,22	6,26	2,30	1,00
BL32	785,94	784,44	2570,23	0,39	0,40	5,23	1,00	1,19	1,00
BL33	787,06	785,56	2486,40	0,39	0,40	10,76	7,87	2,46	1,00
BL34	784,43	782,93	2514,10	0,39	0,40	4,71	1,00	1,18	1,00
BL35	785,25	783,75	1523,67	0,39	0,40	10,27	5,81	1,91	1,00
BL36	788,81	787,31	1405,03	0,39	0,40	5,65	1,17	1,06	1,00
BL37	798,97	797,47	4520,34	0,39	0,40	12,01	1,00	1,38	1,00
BL38	790,70	789,20	928,83	0,39	0,40	10,10	8,00	1,85	1,00

Legenda: Coeficiente de Escoamento Superficial: 0,49; Tempo de Concentração: 5 minutos; Intensidade pluviométrica: 2,23 (mm/min); Coeficiente de Manning: 0,015; Ct: Cota do Terreno (m); Cf: Cota do Fundo da boca de lobo (m); Ac: Área de Contribuição (m²); Qc: Vazão Calculada (m³/s); Dc: Diâmetro Calculado (m); Dcm: Diâmetro Comercial (m); L: Comprimento dos tubos de ligação entre bocas de lobo e poços de visita (m); i: Declividade do Terreno (%); v: Velocidade (m/s); N: Quantidade de Bocas de Lobo (und.).

Fonte: Autoria Própria

Tabela 13 - Dimensionamento rede de drenagem

Trecho	Ct		Ac (m²)		Ac	Tc	I	Qc	Am	Pm	Qa	Dc	Dcm	L	i	v	AL	Y/D	Profund. do PV	
	M (m)	J (m)	Trecho	Sec.															M	J
PV01-PV02	803,14	801,68	8568,92	0,00	8568,92	5,11	2,22	0,16	0,0654	0,6616	0,15	0,55	0,60	63,00	2,75	2,02	0,19	0,32	1,72	2,00
PV02-PV03	801,68	799,50	4044,13	8568,92	12613,05	5,63	2,16	0,22	0,0813	0,7240	0,22	0,55	0,60	61,36	3,11	2,27	0,23	0,38	2,00	1,73
PV03-PV04	799,50	796,68	1343,57	12613,05	13956,63	6,08	2,12	0,24	0,0749	0,6979	0,24	0,54	0,60	61,35	4,59	2,62	0,22	0,36	1,73	1,72
PV05-PV06	799,37	798,29	7140,77	0,00	7140,77	5,08	2,22	0,13	0,0764	0,7045	0,13	0,55	0,60	63,00	1,25	1,40	0,22	0,36	1,93	1,90
PV06-PV04	798,29	796,68	4193,87	7140,77	11334,64	5,83	2,14	0,20	0,0857	0,7404	0,20	0,54	0,60	63,00	2,13	1,88	0,24	0,40	1,90	1,72
PV04-PV07	796,68	793,88	2911,09	25291,27	28202,36	6,47	2,08	0,48	0,1102	0,8321	0,48	0,53	0,60	44,45	6,30	3,38	0,30	0,50	1,72	2,98
PV07-PV08	793,88	789,69	829,04	28202,36	29031,40	6,69	2,06	0,49	0,1022	0,8016	0,49	0,52	0,60	44,45	8,00	3,60	0,29	0,48	2,98	2,14
PV09-PV10	794,12	791,34	5998,22	0,00	5998,22	5,06	2,22	0,11	0,0442	0,5671	0,11	0,56	0,60	63,26	4,10	2,15	0,14	0,24	1,87	2,05
PV10-PV08	791,34	789,69	4072,51	5998,22	10070,72	5,55	2,17	0,18	0,0725	0,6881	0,18	0,54	0,60	63,55	2,74	2,00	0,21	0,35	2,05	2,14
PV08-PV11	789,69	787,92	3570,51	39102,12	42672,63	6,90	2,04	0,71	0,2073	1,1732	0,71	0,60	0,60	66,40	2,67	3,43	0,41	0,69	2,14	2,23
PV11-PV12	787,92	786,22	5234,82	42672,63	47907,45	5,13	2,21	0,87	0,2275	1,1969	0,79	0,73	0,80	66,40	2,46	3,15	0,43	0,54	2,23	2,05
PV12-PV13	786,22	784,67	5056,64	47907,45	52964,09	5,48	2,18	0,94	0,2260	1,1928	0,86	0,73	0,80	63,87	2,97	3,44	0,43	0,54	2,05	2,45
PV14-PV15	800,05	798,16	4367,62	0,00	4367,62	5,13	2,21	0,08	0,0369	0,5244	0,08	0,54	0,60	65,50	3,53	1,72	0,13	0,22	1,73	2,15
PV15-PV16	798,16	796,42	3811,82	4367,62	8179,44	5,77	2,15	0,14	0,0678	0,6601	0,14	0,49	0,60	63,00	2,10	1,43	0,23	0,39	2,15	1,73
PV16-PV17	796,42	794,55	3951,28	8179,44	12130,72	6,51	2,08	0,21	0,0770	0,6964	0,21	0,47	0,60	61,36	3,04	1,63	0,28	0,46	1,73	1,73
PV17-PV18	794,55	792,21	1409,60	12130,72	13540,31	7,13	2,02	0,22	0,0757	0,6999	0,22	0,54	0,60	61,35	3,81	2,36	0,22	0,37	1,73	2,00
PV19-PV20	795,35	793,87	4883,25	0,00	4883,25	5,11	2,22	0,09	0,0471	0,5830	0,09	0,57	0,60	65,50	2,25	1,67	0,15	0,24	1,73	1,84
PV20-PV18	793,87	792,21	4426,03	4883,25	9309,28	5,76	2,15	0,16	0,0639	0,6363	0,16	0,45	0,60	63,00	3,16	1,42	0,26	0,43	1,84	2,00
PV18-PV21	792,21	788,75	3072,84	22849,59	25922,43	7,57	1,99	0,42	0,1087	0,8300	0,42	0,58	0,60	60,60	5,03	3,63	0,26	0,43	2,00	1,73
PV21-PV13	788,75	784,67	1405,03	25922,43	27327,47	7,85	1,96	0,44	0,1005	0,7951	0,44	0,53	0,60	60,59	6,73	3,37	0,28	0,47	1,73	2,45
PV13-LANÇAMENTO	784,67	782,16	4037,77	80291,55	84329,32	8,15	1,94	1,34	0,3922	1,5703	1,34	0,97	1,00	80,79	1,66	3,23	0,52	0,52	2,45	1,50

Legenda: Coeficiente de Escoamento Superficial: 0,5; Tc: Tempo de Concentração; Coeficiente de Manning: 0,015; Ct: Cota do Terreno (m); M: Montante (m); J: Jusante (m); Cf: Cota do Fundo (m); Ac: Área de Contribuição (m²); I: Intensidade de Chuva (mm/min); Qc: Vazão Calculada (m³/s); Am: Área Molhada (m²); Pm: Perímetro Molhado (m); Qa: Vazão Analisada (m³/s); Dc: Diâmetro Calculado (m); Dcm: Diâmetro Comercial (m); L: Comprimento do Trecho (m); i: Declividade do Terreno (%); v: Velocidade (m/s); AL: Altura da Lâmina; N: Quantidade de Bocas de Lobo (und.).

Fonte: Autoria Própria

CAPÍTULO 5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A presente pesquisa iniciou-se com a ideia de comparação dos tipos de sistemas de drenagem, sendo eles o convencional e o sustentável. O estudo foi feito delimitando e caracterizando a área de estudo, sendo ela um loteamento aberto a ser implantado na cidade de Jataí-GO. Diante disso, teve como objetivo dimensionar um projeto de drenagem convencional e outro projeto sustentável, este último conciliando dispositivos de controle na fonte como os poços de infiltração em cada lote e o uso da área de serviço das calçadas, sugeridos pelo Código de Edificações e Obras (JATAÍ, 2020) e pelo Plano Diretor da Cidade (SMOPU, 2020), afim, de possibilitar uma comparação entre ambos os projetos elaborados.

O dimensionamento do projeto sustentável foi realizado utilizando as áreas de contribuição que escoam as águas pluviais para rede, isto é, desconsiderando 2/3 das áreas dos lotes que contribuem diretamente para os poços de infiltração, como mencionado anteriormente. Para estas áreas foi calculado um novo coeficiente de escoamento superficial, atendendo a natureza das superfícies destas áreas e considerando a área permeável das calçadas, desta forma, obtemos um coeficiente de escoamento superficial mais condizente com a natureza que compõe as áreas de contribuição da rede de drenagem. Desta forma, a diferença entre o coeficiente utilizado no primeiro projeto de drenagem convencional com o utilizado no projeto de drenagem sustentável foi de 0,01, sendo o primeiro 0,5 conforme recomendação do PDDU de Jataí (SMAU, 2019) e o último 0,49.

O objetivo proposto consistia na análise da viabilidade técnica de um sistema de drenagem urbana sustentável, com base nas diferenças de vazões de ambos os projetos e pressupondo uma redução destas vazões que escoam pela rede em conjunto com os diâmetros e quantidade de bocas de lobo.

É válido citar que as vantagens dos sistemas de drenagem sustentáveis, além da economia de materiais, é o uso racional do espaço urbano, a redução da vazão transmitida para a jusante e a recarga natural dos aquíferos por meio da infiltração. (LOURENÇO, 2014; CIRIA, 2007).

Com base nos resultados é possível realizar uma comparação, primeiramente, com a adoção do novo coeficiente de escoamento, permitindo que os valores das vazões fossem reduzidos. A Tabela 14 a seguir, demonstra um comparativo das vazões do projeto de drenagem convencional e o sustentável com suas respectivas diferenças em porcentagem.

Tabela 14 - Comparativo entre as vazões dos dois tipos de projeto

Trechos	Q _{ac} (m ³ /s)	Q _{as} (m ³ /s)	Diferença Relativa (%)
PV01-PV02	0,24	0,16	34%
PV02-PV03	0,36	0,22	38%
PV03-PV04	0,40	0,24	40%
PV05-PV06	0,20	0,13	35%
PV06-PV04	0,33	0,20	40%
PV04-PV07	0,81	0,48	41%
PV07-PV08	0,83	0,49	41%
PV09-PV10	0,14	0,11	24%
PV10-PV08	0,24	0,18	26%
PV08-PV11	1,14	0,71	38%
PV11-PV12	1,35	0,87	36%
PV12-PV13	1,47	0,94	36%
PV14-PV15	0,13	0,08	41%
PV15-PV16	0,25	0,14	42%
PV16-PV17	0,36	0,21	43%
PV17-PV18	0,40	0,22	44%
PV19-PV20	0,16	0,09	43%
PV20-PV18	0,29	0,16	45%
PV18-PV21	0,76	0,42	45%
PV21-PV13	0,80	0,44	45%
PV13-LANÇAMENTO	2,23	1,34	40%
Q _{ac} : Vazão adotada no projeto de drenagem convencional (m ³ /s); Q _{as} : Vazão adotada no projeto de drenagem sustentável (m ³ /s).			

Fonte: Autoria Própria

Com base no exposto da Tabela 14, é possível analisar que a média da variação de vazão foi de 39% a menos em comparação ao dimensionamento inicial do projeto de drenagem convencional. A quantidade de bocas de lobo foi reduzida em 9% da quantidade total do projeto de drenagem urbana convencional o qual continha 43 unidades. Após o redimensionamento, obteve-se uma redução de 4 bocas de lobo, totalizando 39 unidades.

Outro ponto a ser analisado são os diâmetros da rede, como demonstrado na Tabela 15 a seguir.

Tabela 15 - Comparação dos Diâmetros da Rede

Diâmetro da Rede de Drenagem		
Trecho	DRDPC	DRDPS
PV01-PV02	0,60	0,60
PV02-PV03	0,60	0,60
PV03-PV04	0,60	0,60
PV05-PV06	0,60	0,60
PV06-PV04	0,60	0,60
PV04-PV07	0,60	0,60
PV07-PV08	0,60	0,60
PV09-PV10	0,60	0,60
PV10-PV08	0,60	0,60
PV08-PV11	0,80	0,60
PV11-PV12	0,80	0,80
PV12-PV13	0,80	0,80
PV14-PV15	0,60	0,60
PV15-PV16	0,60	0,60
PV16-PV17	0,60	0,60
PV17-PV18	0,60	0,60
PV19-PV20	0,60	0,60
PV20-PV18	0,60	0,60
PV18-PV21	0,60	0,60
PV21-PV13	0,60	0,60
PV13-LANÇAMENTO	1,00	1,00
DRDPC: Diâmetro da rede de drenagem do projeto sustentável (m); DRDPS: Diâmetro da rede de drenagem do projeto sustentável (m).		

Fonte: Autoria Própria

A partir dos valores da Tabela 15 acima, é possível observar que os diâmetros da rede não obtiveram um resultado significativo, tendo apenas o trecho entre o PV08 e o PV11 com redução de diâmetro de 0,80 m para 0,60 m.

Outro ponto analisado, foi o volume de infiltração do sistema convencional e o sustentável, os quais os resultados estão apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Comparativo dos volumes infiltrados do sistema convencional e sustentável

Volume de Infiltração (mt)	
$V_{i,sust}$ (mt)	$V_{i,conv}$ (mt)
1034,78	747,63

Fonte: Autoria Própria

Os resultados do volume de infiltração foram obtidos pela diferença do volume de água que cai nas áreas de contribuição pelo volume de água que escoa nas mesmas áreas. Para o sistema de drenagem sustentável obtivemos, aproximadamente, um volume total de 751,50 m³ e para o de drenagem convencional um valor total de 747,60m³. Analisando-se o resultado dos dois valores obtidos para o volume de infiltração, foi possível observar que o sistema de drenagem sustentável tem uma infiltração maior relacionada com o sistema convencional, porém, os valores apresentaram uma variação relativa pequena de, aproximadamente, 0,20%.

Diante do exposto, considera-se que o projeto não obteve um resultado representativo, pois, os resultados obtidos no dimensionamento sustentável apresentaram uma diferença pequena em relação ao dimensionamento convencional. Observa-se, também, que as vazões recalculadas para o sistema sustentável foram menores que as obtidas no dimensionamento inicial, porém, não impactaram significativamente na redução dos diâmetros das tubulações da rede de drenagem, assim como os volumes de infiltração obtidos não tiveram uma variação significativa.

CAPÍTULO 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base no que já foi citado nos capítulos de embasamento teórico e desenvolvimento, os efeitos da urbanização para o meio ambiente traz diversos impactos, dentre eles a alteração no ciclo hidrológico. Com isso, os sistemas de drenagem sustentável vêm sendo aplicados de forma a amenizar tais impactos e trazer uma melhoria na qualidade de vida, com poucas interferências no meio urbano e melhorar a recarga dos corpos hídricos por meio da infiltração, uma vez que a mesma é prejudicada pela impermeabilização do solo causada pelo crescimento populacional.

Desta forma, esta pesquisa teve o objetivo de avaliar a viabilidade técnica da implantação de sistemas sustentáveis. A partir dos resultados obtidos da comparação entre os dois sistemas de drenagem, observando suas vazões, o valor do coeficiente de escoamento superficial, a quantidade de dispositivos de drenagem convencional e os volumes de infiltração, é possível concluir que os resultados obtidos se diferem sobre um valor pequeno, trazendo poucos impactos na redução do diâmetro da tubulação e quantidade de dispositivos de drenagem.

Os resultados obtidos foram a redução da quantidade de bocas de lobo de 9% do total relacionado ao projeto convencional, reduzindo de 43 unidades para 39. As vazões calculadas em ambos os dimensionamentos tiveram uma variação média de 39% a menos em relação ao dimensionamento inicial e uma redução de diâmetro mínima em apenas um trecho de todo o loteamento, reduzindo de 0,80 m para 0,60 m. E por fim, o resultado do volume de infiltração, variou em 4m³ a menos que o dimensionamento inicial.

O objetivo de realizar a análise de ambos os projetos foi executado, sendo possível a implantação de dispositivos de controle das águas pluviais de forma a beneficiar o ciclo hidrológico natural e a qualidade das águas destinadas aos aquíferos. Mesmo que o resultado obtido não tenha sido significativo em termos de economia de dispositivos e diâmetros de tubulação, destaca-se a importância urbanística dos SuDS, a melhoria da qualidade da água trazida por esse tipo de sistema, a redução dos impactos nos aquíferos, a redução das concentrações de poluentes nas águas pluviais além do valor estético agregado às áreas urbanas. Conclui-se, então que o desenvolvimento do presente trabalho é benéfico para a área em questão, visto que os gastos de sua implantação são inferiores aos gastos de um sistema convencional e o mesmo traz mais benefícios qualitativos à rede urbana.

REFERÊNCIAS

- ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland. **Reservatórios de Detenção**. Figura. São Paulo, Ago/2013. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/saneamento/reservatorios-de-detencao/>. Acesso: 20 nov. 2022
- ALMEIDA, G.H.T.D.; MASINI, L.S.; MALTA, L.R.S. **Hidrologia e Drenagem**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p.
- ANTUNES, P. T. S. C.; DIAS, F. S. **Estudo Comparativo de Projeto de Drenagem Convencional e Sustentável para Controle de Escoamento Superficial em Ambientes Urbanos**. 2010. Projeto de Graduação (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.
- ARAÚJO, P. R.; GOLDENFUM, J. A.; TUCCI, C. E. M. Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 5, n. 3, p. 21-29, Jul./Set. 2000.
- AutoCad®. **Representação das curvas de nível do projeto em estudo**. Agos/2022
- AZEVEDO NETTO, J. M. de et al. **Manual de Hidráulica**. 8 ed. São Paulo: Blucher, 1998.
- AZEVEDO NETTO, J. M. de; FERNÁNDEZ, M. F. **Manual de Hidráulica**. 9 ed. São Paulo: Blucher, 2015.
- BALLARD, B.W *et al.* **The SuDS Manual**. Construction Industry Research and Information Association - CIRIA, 2007.
- BALLARD, B.W *et al.* **The SuDS Manual**. Construction Industry Research and Information Association - CIRIA, 2015.
- BASTOS, P. C. **Efeitos da Urbanização sobre Vazões de Pico de Enchente**. Dissertação (Mestrado) – Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2009.

CANHOLI, A. P. **Drenagem e Controle de Enchentes**. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CRUZ, M. A. S.; SOUZA, C. F.; TUCCI C. E. M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, RS, v. 17, n. 2, abr./jun. 2012. p. 9-18.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (DNIT). **Tipos de Dispositivos de Drenagem**. 5 ed. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2018.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Manual de saneamento**. 5. ed. Brasília: Funasa, 2019. 545p.

GLOBALPAV© – PAVIMENTO E CONSTRUÇÃO, LTDA. PAVIston – Betão Poroso. [2021]. 1 figura, color. Disponível em: <http://globalpav.pt/produtos/paviston-betao-poroso/>. Acesso em: 21 jun. 2022.

GOOGLE EARTH. **Localização do setor Parque Brito** [mapa]. sem escala. <https://earth.google.com/web/search/-17.853831,+51.727862/@-17.85399574,-51.72503329,797.82664076a,1796.7803473d,35y,1.75966502h,0t,0r/data=CigiJgokCf-Bpbk_xDHAEUNvkoTABDLAGdphc8xsy0nAIV0WvFGa9UnA> (acessado em 28 ago de 2022).

GRIBBIN, John E. **Introdução a hidráulica, hidrologia e gestão de águas pluviais**. 4 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2014.

IBGE. **Áreas Urbanizadas do Brasil: 2015**. IBGE, coordenação de Geografia – Rio de Janeiro: IBGE, 2017. v. 44, 28p.

IBGE. **Áreas Urbanizadas do Brasil: 2019**. IBGE, coordenação de Geografia – Rio de Janeiro: IBGE, 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Áreas Urbanizadas 2005**. IBGE, 2005. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/tipologias-do-territorio/15789-areas-urbanizadas.html?edicao=16668&t=sobre>. Acesso em: 20 out. 2022.

JATAÍ. Lei nº 3067 de 28 de Junho de 2010. Institui o Código de Edificações. Jataí, GO, 2010.

JATAÍ. Lei nº 3068 de 28 de Junho de 2010. Lei Uso e Ocupação do Solo Urbano e Zoneamento. Jataí, GO, 2010.

JATAÍ. Lei nº 3070, de 28 de junho de 2010. Institui o Plano Diretor Urbano. Jataí, GO, 2010.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Coimbra, 2014.

MEIRA, S. F. Prefeitura de Goiânia constrói 12 estruturas para o escoamento de água. **O Hoje.com**, Goiânia, 2019, 12 mar. 2019. Disponível em: <https://ohoje.com/noticia/cidades/n/161875/t/prefeitura-de-goiania-constroi-12-estruturas-para-escoamento-de-agua/>. Acesso em: 02 nov. 2022.

OHNUMA JÚNIOR, A. A. **Medidas não Convencionais de Reservação d'água e Controle da Poluição Hídrica em Lotes Domiciliares**. Tese (Doutorado) – Ciências da Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2008.

PORTAL PAVIMENTAR - Artefatos de concreto bloquetes blocos pisos guias. **Pisograma**. [2013]. Disponível em: <https://artefatosdeconcreto.blogspot.com/2013/01/pisograma-piso-drenante-piso-ecologico.html>. Acesso em: 21 jun. 2022.

PREFEITURA DE GOIÂNIA (Brasil). **Prefeitura investe pesado em obras de drenagem urbana**. [Goiânia, GO]: Prefeitura de Goiânia, Out/2019. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/prefeitura-investe-pesado-em-obras-de-drenagem-urbana/>. Acesso em: 27 jul. 2022.

PUC. **Modelo de Polo de Recarga/Detenção com Manilha Furada**. Imagem. PUC: 11/nov/2019. Disponível em:

<http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/17803/material/DETALHE-PO%C3%87O-DE-RECARGA.pdf>. Acesso em: 25 de nov. de 2022.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. de O. Comparação de desempenho hidrológico de sistemas de infiltração de água de chuva: poço de infiltração e jardim de chuva. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 79-90, abr./jun. 2014.

REZENDE, O. M.; MIGUEZ, M. G.; VERÓL, A. P. Manejo de Águas Urbanas e sua Relação com o Desenvolvimento Urbano em Bases Sustentáveis Integradas – Estudo de Caso dos Rios Pilar-Calombé, em Duque de Caxias/RJ. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Rio de Janeiro, v.18, n.2, p. 149-163, Abr/Jun 2013.

RIGHETTO, A. M; MOREIRA, L.F.F.; SALES, T.E.A. **Manejo de Águas Pluviais Urbanas**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 396p.

SECRETARIA DE OBRAS E PLANEJAMENTO URBANO (SOPU). **Projeto Modelo de Calçadas**. SOPU: Jataí, 30/jun de 2020. Disponível em: <https://www.jatai.go.gov.br/secretaria-de-obras-e-planejamento-urbano/documentos-e-arquivos/>. Acesso: 25 de nov. de 2022.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE E URBANISMO (SMAU). **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Jataí, GO, 2019.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E PLANEJAMENTO URBANO (SMOPU). **Projeto de Lei: Plano Diretor de Ordenamento Territorial de Jataí**. Jataí, GO, dez/2020

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E PLANEJAMENTO URBANO (SMOPU). **Projeto de Lei: Código de Edificações e Obras do Município de Jataí**. Jataí, GO, dez/2020

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. A. Metodologia Generalizada para Pré-dimensionamento de Dispositivos de Controle Pluvial na Fonte. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 157-168, Abr/Jun 2007.

SILVEIRA, André L.L.; ZANANDREA, Franciele. Uso de Técnicas Low impact development no controle de impactos hidrológicos. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES**, Rio de Janeiro, v.24, n.6, nov/dec 2019.

SOUZA, C. F.; CRUZ, M. A. S.; TUCCI, C.E.M. Desenvolvimento Urbano de Baixo Impacto: Planejamento e Tecnologias Verdes para a Sustentabilidade das Águas Urbanas. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, RS. v. 17, n.2, p.9-18, Abr/Jun 2012.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte, MG: Editora UFMG, 2014.

TOSCAN NETO, A. **Simulação de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável Aplicada em um Loteamento U200bano Utilizando o EPA SWMM**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, PR, 2019.

TUCCI, C. E. M. Águas Urbanas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, jan. 2008. p. 97-112.

TUCCI, C. E. M. Drenagem Urbana. **Ciência e cultura**. São Paulo, vol.55, n.4, Out./Dez. 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades, 2005.

TUCCI, C. E. M.; COLLISCHONN, W. DRENAGEM URBANA E CONTROLE DE EROSÃO. **DRENAGEM URBANA E CONTROLE DE EROSÃO**, [s. l.], 1988.

UN, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019). World Urbanization Prospects 2018: Highlights. New York: United Nations, 2019.

YAZAKI, L. F. O.; MONTENEGRO, M. H. F.; COSTA, J. da. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**. Brasília - DF: 2018.

ANEXO A - PROJETO DE DRENAGEM URBANA CONVENCIONAL



ANEXO B - PROJETO DE DRENAGEM URBANA SUSTENTÁVEL

