



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Gabriel Steffen da Silva

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA
GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE CASO**

Florianópolis, 2024.

Gabriel Steffen da Silva

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA
GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof^ª. Liseane Padilha Thives, Dr^ª.

Florianópolis, 2024.

Gabriel Steffen da Silva

**ANÁLISE DA VIABILIDADE DO USO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS NA
GESTÃO DE ÁGUAS PLUVIAIS: ESTUDO DE CASO**

Exame de qualificação como requisito para obtenção do Título de “Engenheiro Civil” no
Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina.

Florianópolis, 3 de dezembro de 2024.

Prof^ª. Lia Caetano Bastos, Dr^ª.

Coordenadora do curso

Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente

Liseane Padilha Thives

Data: 16/12/2024 13:54:29-0300

CPF: ***,695,689-**

Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

Prof^ª. Liseane Padilha Thives, Dr^ª.

Orientadora

Prof^ª. Luciana Rohde, Dr^ª.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Rafael Cassimiro Barbosa, MSc.

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024.

Ficha de identificação da obra

Silva, Gabriel Steffen da

Análise da viabilidade do uso de pavimentos permeáveis na gestão de águas pluviais: Estudo de caso / Gabriel Steffen da Silva ; orientadora, Liseane Padilha Thives, 2024.

82 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Civil. 2. Pavimentos permeáveis. 3. Gestão de águas pluviais. 4. Drenagem urbana. I. Thives, Liseane Padilha. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus e à Nossa Senhora Aparecida, pela força nos momentos desafiadores, onde a fé me permitiu seguir em frente.

Aos meus pais, Jucelia C. Steffen, Rosivaldo N. Torquato e José L. da Silva, por todos os ensinamentos, apoio e incentivo ao longo desta jornada acadêmica, que sempre acreditaram em mim, mesmo nos momentos em que duvidei de minha própria capacidade e por todo o suporte na realização dos meus sonhos.

À minha orientadora, Professora Liseane Padilha Thives, por sua orientação, paciência, amizade, pelos inestimáveis conselhos durante todo o processo de elaboração deste trabalho e, principalmente, por ter me feito conhecer a área de pavimentação, pela qual tenho profundo interesse e admiração.

À professora Luciana Rohde, pelos conselhos, amizade e pelos ensinamentos, que fortaleceram ainda mais meu interesse pela área de pavimentação.

Ao Professor Rafael Cassimiro Barbosa, por ter aceitado o convite de participar da banca examinadora.

À minha namorada, Letícia Serveira, pela presença constante, paciência e apoio incondicional ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, sendo minha fonte de força e dedicação, tanto nos momentos de dificuldade quanto nos de conquista.

À família da minha namorada, Sérgio Serveira, Fernanda C. da Silva, Guilherme Serveira e Gustavo Marian, agradeço pelo carinho, pela confiança e pelo apoio constantes ao longo desta jornada.

Aos meus amigos e colegas de curso, pela valiosa parceria em todos os momentos. Em especial, Anthony Aliardi, Francisco Kloppel, Gustavo Utzig, Henrique Simiano e Pedro Costa.

Ao meu amigo e colega de curso Juliarde de S. Santana, por ter feito parte de toda essa caminhada ao meu lado. Agradeço, por termos crescido, por ter aceitado desafios, pelas brigas, pelas risadas, por termos passado dias e noites estudando e fazendo trabalhos juntos. Obrigado por todos esses anos de apoio.

Agradeço à Betonada da Civil por me permitir aprender tanto e conhecer tantas pessoas. Obrigado a todos que conheci e com quem trabalhei. Em especial, Adriel Brito, Alef Pereira, Helena Heerdt, Lucas Baader e Sofia Burigo.

Agradeço a todos com quem trabalhei na Prefeitura Municipal de Florianópolis, em especial ao Robson Camilo e Roberto Katumi, por acreditarem e oferecerem a minha primeira oportunidade na área de Engenharia Civil. Ao Engenheiro Ivan Luiz C. Schneider,

pelos valiosos ensinamentos, pelo apoio constante, incentivo e amizade ao longo desta jornada.

E por fim, obrigado à UFSC, por me permitir tanto crescimento, desenvolvimento, viver as diversas experiências e conhecer pessoas incríveis. Obrigado a todos os professores e colegas que de alguma forma, estiveram ao meu lado e contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

"A estrada para o sucesso está
sempre em construção."

Lily Tomlin

RESUMO

No Brasil, a maioria das cidades carecem de uma infraestrutura viária adequada e diversas ruas não são pavimentadas. Como consequência, em locais específicos, durante eventos de precipitação intensa, a população enfrenta problemas de mobilidade e acessibilidade. Por outro lado, a busca por soluções e alternativas pode estar nos materiais escolhidos da própria infraestrutura. Neste sentido, a infraestrutura permeável se mostra como opção no gerenciamento de águas pluviais. Este trabalho avaliou o uso pavimentos permeáveis como uma alternativa na mitigação de problemas de drenagem urbana e gerenciamento de águas pluviais em servidões na capital do estado de Santa Catarina, Florianópolis. O crescimento populacional e consequente urbanização desordenada, resultou na impermeabilização intensificada do solo e terrenos naturais na cidade, gerando um aumento do volume de escoamento superficial e incidência de alagamentos. O estudo de caso foi conduzido numa servidão não pavimentada, localizada no bairro Lagoa da Conceição. A metodologia abrangeu a análise das características do local e dimensionamento de um pavimento permeável como alternativa de gerenciamento das águas pluviais. A espessura da camada de armazenamento temporário de água do pavimento foi calculada de modo a atender à chuva de projeto adotada, bem como foi indicado um volume para o reservatório inferior, onde a água permanecera armazenada temporariamente, até ser bombeada a um sistema de drenagem. Através do uso do programa computacional Netuno 4, foi dimensionado o reservatório com 3.000 litros, o qual atenderia às necessidades da servidão. Foi proposta a implantação do pavimento permeável com as seguintes camadas: revestimento, *choker course* e a *reservoir course*. Nesta servidão, pelas características topográficas, o posicionamento escolhido para o reservatório foi na cota mais baixa da rua, cuja água armazenada será conduzida por um sistema de tubulações e motobombas ao sistema de drenagem da rua geral, na cota mais elevada da servidão.

Palavras-chave: Pavimentos permeáveis, gestão de águas pluviais, drenagem urbana.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo hidrológico da água.	19
Figura 2 - Relação entre cobertura impermeável e escoamento superficial.	20
Figura 3 - fenômenos relacionados à água em áreas urbanas enchente, inundação e alagamento.	22
Figura 4 - Sistema de microdrenagem.	24
Figura 5 - Sistema de macrodrenagem.	24
Figura 6 - Sistema de drenagem.	25
Figura 7 - Pavimento com infiltração total.	31
Figura 8 - Pavimento com infiltração parcial.	31
Figura 9 - Pavimento sem infiltração.	32
Figura 10 - Estrutura típica de um pavimento permeável.	32
Figura 11 - Áreas de estacionamento com pavimento em concreto permeável e áreas de circulação, com pavimento de em concreto convencional.	37
Figura 12 - Fluxograma da metodologia.	39
Figura 13 - Localização área de estudo.	40
Figura 14 - Localização do estudo no bairro da Lagoa da Conceição.	40
Figura 15 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição	41
Figura 16 - Planta Esquemática sem escala que consta em anexo na Lei 7.982 /2009 de denominação da via.	43
Figura 17 - Localização da Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição.	44
Figura 18 - Boletim de Sondagem.	44
Figura 19 – Poço de sondagem para identificação do solo.	45
Figura 20 - Nível de água a 1,40 m da superfície do terreno.	45
Figura 21 - Perfil da Servidão Canto do Canto.	46
Figura 22 - Levantamento topográfico (sem escala) da Servidão Canto do Canto.	47
Figura 23 – Estrutura proposta pro Hammes (2017) - Modelo B.	52
Figura 24 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição alagada.	55
Figura 25 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição início da via.	55
Figura 26 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição meio da via.	56
Figura 27 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição fim da via.	56
Figura 28 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, início da servidão, posição início da via com interseção com a Rua Laurindo Januário Silveira (geral principal).	57
Figura 29 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição início da via.	57
Figura 30 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição meio da via.	58
Figura 31 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição fim da via.	58
Figura 32 - Espessura necessária de sub-base	60
Figura 33 - Estrutura dimensionada do pavimento convencional com revestimento de blocos intertravados.	61
Figura 34 - Paver permeável.	61
Figura 35 - Médias mensais de precipitação de janeiro de 2013 a dezembro de 2023	63
Figura 36 - Painel de dados de entrada do software Netuno 4.	64
Figura 37 - Resultados obtidos no Netuno	65
Figura 38 - Estrutura dimensionada final de pavimento permeável.	66
Figura 39 - Planta baixa da servidão	68
Figura 40 - Planta tipo e seção tipo	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Definição das características do revestimento.....	60
Tabela 2 - Resultados de duração, intensidade e altura.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland.
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas.
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
BMP	<i>Best Management Practices</i>
CBR	<i>California Bearing Ratio</i>
CEPED	Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil
CIRIA	<i>Construction Industry Research and Information Association</i>
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (Extinto)
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
EUA	Estados Unidos da América
FHWA	<i>Federal Highway Administration</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISC	Índice de Suporte Califórnia
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
PMF	<i>Federal Highway Administration</i>
PMF	Prefeitura Municipal de Florianópolis
PMSP	Prefeitura Municipal de São Paulo
RWMWD	<i>Ramsey Washington Metro Watershed District</i>
SUDS	Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável
UNHSC	<i>University of New Hampshire Stormwater Center</i>
USACE	<i>US Army Corps of Engineers</i>
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
WSC	<i>Washington Stormwater Center</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. Objetivo Geral	16
1.2. Objetivos Específicos	16
1.3. Estrutura do Trabalho	16
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1. Interferência da urbanização no ciclo hidrológico	18
2.2. Drenagem Urbana.....	22
2.2.1. Sistemas convencionais de drenagem urbana.....	23
2.2.2. Sistemas alternativos de drenagem urbana.....	26
2.3. Pavimentos de vias urbanas	28
2.4. Pavimentos Permeáveis	28
2.4.1. Tipos de pavimentos permeáveis.....	30
2.4.2. Sistema de camadas drenantes.....	32
2.4.3. Dimensionamento estrutural.....	34
2.4.4. Dimensionamento hidráulico.....	35
2.4.5. Manutenção	35
2.4.6. Aplicações e estudos com pavimentos permeáveis	36
3. METODOLOGIA.....	39
3.1. Área de estudo	39
3.2. Estudo de caso	41
3.3. Dimensionamento.....	48
3.3.1. Dimensionamento Estrutural	49
3.3.2. Dimensionamento Hidráulico.....	50
4. RESULTADOS	54
4.1. Visitas técnicas ao local do estudo de caso	54
4.2. Dimensionamento Estrutural	59
4.3. Dimensionamento Hidráulico.....	61
4.4. Estrutura final	65
4.5. Proposta de projeto conforme padrões da Prefeitura Municipal de Florianópolis	66
5. CONCLUSÃO.....	70
5.1. Limitações	71
5.2. Sugestões para trabalhos futuros	71
REFERÊNCIAS	72

1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento populacional e a ocupação desordenada das áreas urbanas das cidades têm sido motivos de preocupação dos governantes. Especialmente nos centros urbanos, uma das consequências é a ocorrência de cheias e enchentes em períodos de precipitação intensa. Com a redução de áreas permeáveis os elementos de drenagem recebem uma carga além daquela a qual foram dimensionados, tendo como resultado, alagamentos frequentes.

A impermeabilização do solo afeta o ciclo hidrológico, sendo necessária a adoção medidas que possam minimizar evitar os efeitos decorrentes das precipitações (Virgiliis, 2009).

Neste contexto, se insere a cidade de Florianópolis, capital do Estado de Santa Catarina localizada no sul do Brasil, e atualmente considerada uma cidade de médio porte. Nas últimas três décadas, Florianópolis sofreu um crescimento acelerado, sendo que em 1989 a população era de 236 mil habitantes e em 2022, de 537 mil habitantes (IBGE, 2022). Florianópolis ocupa uma área de 675 km² e possui peculiaridades, uma vez que é uma ilha, com 97% da área na parte insular e 3% na continental. O aumento populacional foi acompanhado pelo crescimento da urbanização, sendo que em 1989, a área urbana era de 15%, enquanto que em 2021, de 25%, o que representa um aumento de 40% (Trabaquini, 2021).

Historicamente o estado de Santa Catarina tem sido afetado por elevados volumes pluviométricos (Herrmann, 2014). Os eventos de chuvas intensas são ocorrências climáticas que podem resultar em desastres hidrológicos, como alagamentos e inundações repentinas e graduais e ainda em catástrofes geológicas, como deslizamentos de terra. Esses fenômenos ocorrem com maior frequência na porção leste do estado onde o município de Florianópolis está localizado (CEPED, 2012). Um levantamento sobre desastres relacionados às inundações bruscas que ocorreram em Santa Catarina entre 1980 e 2010, mostrou que Florianópolis se encontrava entre os dez locais mais impactados, ocupando a sexta posição (Marcelino *et al.*, 2014).

Além das edificações, a pavimentação de ruas, calçadas e estacionamentos também contribui para a redução das áreas permeáveis, uma vez que os revestimentos (concreto asfáltico, concreto de cimento Portland e *pavers*) comumente utilizados nos pavimentos são “impermeáveis”. Nas regiões urbanas de alta densidade populacional, as áreas destinadas às vias públicas e aos estacionamentos ocupam uma parcela significativa do espaço, correspondendo em até 30% da área total da bacia de drenagem (ABCP, 2013).

Além do aumento da impermeabilização da superfície nas últimas décadas, a precipitação média anual de Florianópolis é elevada, o que contribui para a ocorrência de alagamentos no período de chuvas intensas. De acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), a média anual de precipitação na região entre 2013 e 2018, foi de aproximadamente 1.700 mm. Entre 2015 e 2023, a precipitação média anual variou significativamente, sendo influenciada por diversos fenômenos climáticos. Devido ao fenômeno El Niño por exemplo, em 2023, os volumes de chuva foram superiores à média histórica. Em Florianópolis, nos meses de outubro e novembro de 2023, a precipitação média acumulada foi superior a 800 mm, sendo que nos anos anteriores, nestes meses, era de 300 mm.

O setor de drenagem em Florianópolis enfrenta limitações estruturais e institucionais, como a fragilidade no planejamento, escassez de recursos, ausência de padronização nos serviços e insuficiência técnica para gestão, agravadas pela falta de cadastro das redes de drenagem. Além disso, a expansão urbana desordenada e a impermeabilização de áreas essenciais exigem a eficiência dos sistemas existentes, muitas vezes projetadas para escoar rapidamente as águas pluviais, resultando na transferência de problemas de alagamentos para outras regiões. (Finotti *et al.*, 2019).

O sistema convencional de drenagem urbana baseia-se sob o princípio de escoamento da água da chuva o mais rápido possível, visando diminuir os alagamentos na área drenada. No entanto, tal método tende a intensificar o risco de inundações nos corpos hídricos a jusante, uma vez que não permite o fluxo natural da água (Tucci, 2003). Uma drenagem urbana insuficiente decorrente do aumento de área impermeável nas cidades pela crescente urbanização tem como resultado uma infraestrutura urbana sem capacidade de suportar o volume das precipitações (ABREU E MIRANDA, 2020). As consequências são as seguintes: inundações, alagamentos, enxurradas, inundações costeiras, erosão ou instabilidade do fundo e/ou laterais de um canal, obstrução de algum acessório de drenagem, interceptação e construção em acessório de drenagem e assoreamento de canal esgotos (Finotti *et al.*, 2019).

Atualmente, estão sendo implantadas, principalmente em países desenvolvidos, novas abordagens quanto ao gerenciamento de águas pluviais em centros urbanos, sob a denominação de "*Best Management Practices*" (BMPs). As BMPs têm objetivo de atenuar as cheias desde a origem do problema, baseando-se na implementação de micro reservatórios de acumulação e no aumento de áreas permeáveis (Barros *et al.*, 2020).

Dentre as alternativas elencadas nas BMPs estão os pavimentos permeáveis. De acordo com Ferguson (2005), pavimentos permeáveis são estruturas com camadas drenantes com

elevado volume de vazios e que possuem vazios comunicantes, através dos quais a água pode atravessar e ainda, a estrutura é dimensionada de modo a atender aos carregamentos do tráfego. O pavimento permeável tem sido indicado para ser utilizado em estacionamentos, pátios, calçadas e vias de tráfego leve. A camada de revestimento pode ser de vários materiais, como blocos de concreto pré-moldado, concreto poroso moldado *in loco*, concreto asfáltico drenante, blocos de concreto vazados preenchidos com areia ou grama.

Os pavimentos permeáveis se mostram como uma alternativa eficaz para mitigar os impactos da impermeabilização dos solos em áreas urbanas, que podem ser aplicados em passeios, calçadas, estacionamentos e ruas de cidades. Em geral, têm sido indicados para uso em vias de tráfego leve. No entanto, no caso de revestimento em misturas asfálticas drenantes, o uso de asfaltos modificados pode melhorar o desempenho sob elevadas cargas de tráfego (Hammes, 2022).

Devido à capacidade de infiltração das águas pluviais por meio das camadas permeáveis, os pavimentos permeáveis possibilitam a redução da espessura da lâmina d'água na superfície, diminuindo a distância de frenagem e os riscos de aquaplanagem (Bernucci *et al.*, 2022).

Os problemas de drenagem em Florianópolis têm sido amplamente documentados em estudos acadêmicos e diagnósticos participativos. Esses desafios são agravados pela ocupação indevida de áreas de várzea e pela canalização inadequada dos cursos d'água. Diversos estudos apontam para a falta de infraestrutura adequada como causa central desses problemas (Finotti *et al.*, 2021; Souza, 2024).

O crescimento elevado revela um desequilíbrio entre a expansão da malha urbana, a densidade populacional e a capacidade das infraestruturas urbanas de acompanhar esse desenvolvimento de forma sustentável. Tal cenário destaca a necessidade de um planejamento urbano mais eficiente para que o crescimento populacional não amplie os desafios relacionados à ocupação do solo e à urbanização. Além disso, a drenagem urbana na cidade tem apresentado problemas considerados significativos, resultando em um número crescente de residências afetadas por inundações. O crescimento desordenado, aliado à impermeabilização crescente do solo e ao subdimensionamento das estruturas de drenagem, têm contribuído e agravado a situação. Com a intensificação dos eventos de chuva devido às mudanças climáticas, é esperado que esses episódios se tornem mais frequentes e severos, tornando urgente a adoção de um planejamento adequado e de medidas efetivas por parte da gestão municipal (Floripamanhã, 2022).

Outra questão importante está relacionada à infraestrutura viária deficiente relativa ao número de ruas e vias não pavimentadas de Florianópolis. De acordo com dados da Prefeitura Municipal, cerca de 40,39% das vias públicas não são pavimentadas (PMF, 2022).

Este trabalho visa contribuir para melhoria da qualidade de vida da população, com foco em vias que ainda não são pavimentadas. Neste caso, o estudo propõe o uso de pavimentos permeáveis como uma alternativa que pode ainda minimizar os atuais problemas de gestão de águas pluviais na cidade.

Nesse contexto, foi escolhida uma servidão não pavimentada para realizar o estudo de caso, cuja metodologia adotada poderá ser usada e adaptada em outros locais semelhantes. Considera-se ainda, que o estudo de tecnologias alternativas, como pavimentos permeáveis, é essencial para avaliar as possíveis transformações, benefícios ou adversidades à infraestrutura local. Além disso, busca-se no estudo compreender as principais dificuldades técnicas e logísticas envolvidas na implantação desse tipo de pavimento, bem como os impactos para os moradores e para a gestão municipal.

1.1. Objetivo Geral

Avaliar a implantação de uma estrutura de pavimento permeável como alternativa de melhoria da gestão de águas pluviais em vias urbanas.

1.2. Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos são propostos:

- Caracterizar a estrutura de pavimento permeável adequada por meio do dimensionamento estrutural e hidráulico para o estudo de caso;
- Caracterizar a área de estudo e realizar o levantamento das condições locais;
- Identificar a espessura da camada de reservatório (*reservoir course*) necessária em função da precipitação e área de coleta, bem como o volume de reservatório para armazenamento da água captada;

1.3. Estrutura do Trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos cujos conteúdos são a seguir descritos resumidamente a seguir:

O Capítulo 1, apresenta o tema da pesquisa, com uma breve descrição dos conceitos relativos aos pavimentos permeáveis, benefícios e aplicações para o sistema de drenagem, além da justificativa e a motivação para a realização deste trabalho e objetivos.

No Capítulo 2, Revisão Bibliográfica, é apresentado o estado da arte relacionado aos temas essenciais para o desenvolvimento do trabalho, bem como resultados de trabalhos de outros autores inseridos na temática.

O Capítulo 3, Materiais e Método, apresenta e descreve a metodologia adotada, apoiada em normas e literatura consultada que embasam o estudo.

No Capítulo 4, Resultados, são apresentados os resultados obtidos ao longo do desenvolvimento deste trabalho. São detalhadas as análises realizadas para estabelecer a estrutura do pavimento permeável e a proposição da alternativa viável para mitigação dos problemas da servidão.

O Capítulo 5, Considerações Finais e Recomendações, apresenta um resumo das avaliações apresentadas e discutidas no trabalho, bem como, propostas recomendações para futuras pesquisas na área.

Nas Referências constam as referências bibliográficas citadas e que serviram de base para elaboração da metodologia adotada e do trabalho.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, são apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento do trabalho e que serviram de suporte ao método proposto. A revisão bibliográfica abrangeu os sistemas de drenagem urbana convencionais e alternativos, bem como as definições e conceitos referentes aos pavimentos permeáveis. Após, foram apresentados estudos de caso de uso de pavimentos e revestimentos drenantes com base na literatura consultada.

2.1. Interferência da urbanização no ciclo hidrológico

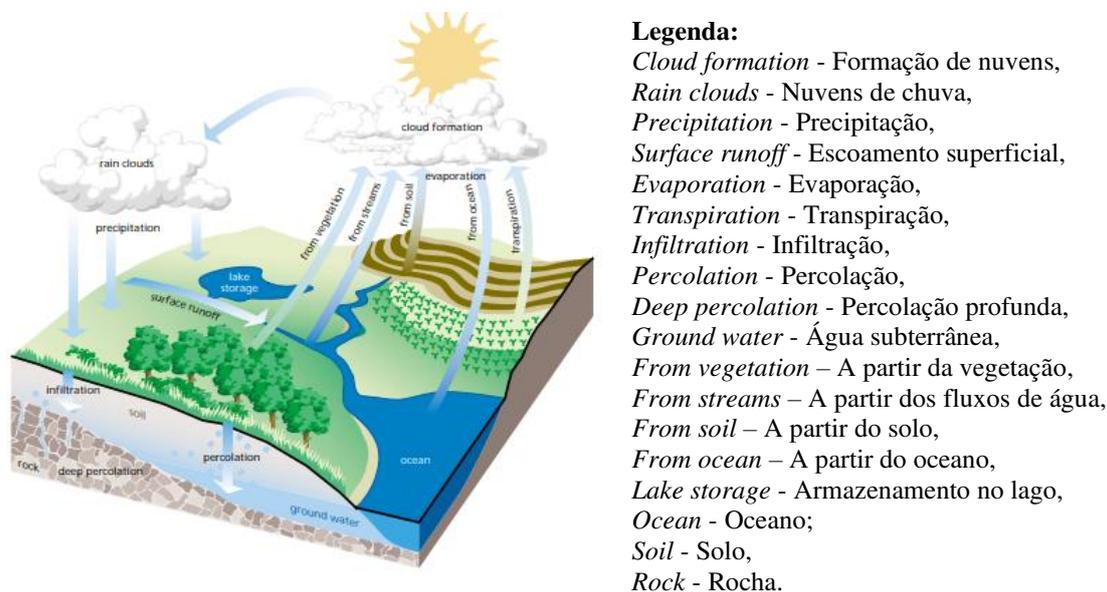
As cidades, com suas configurações heterogêneas, apresentam variados padrões de edificações, habitações e espaços públicos. A formação e expansão das áreas urbanas envolvem a contínua substituição de superfícies naturais por materiais artificiais e contribuem para a degradação ambiental e a alteração dos padrões climáticos locais (Ferreira *et al.*, 2010). No Brasil, a urbanização se intensificou significativamente após a implantação dos Planos Nacionais de Desenvolvimento (PND) (Ferreira, 2009). A partir da década de 1970, houve uma transformação substancial na ocupação do solo no país, com expansão dos centros urbanos (Egler, 2001; Silva, 2008).

O ciclo hidrológico, ou ciclo da água (Figura 1), é o movimento contínuo da água presente nos oceanos, continentes (superfície, solo e rocha), o qual é alimentado pela força da gravidade e pela energia do sol, que provocam a evaporação das águas dos oceanos e dos continentes. Enquanto que na atmosfera ocorre a formação de nuvens que, quando carregadas, provocam precipitações (Figura 1), nos continentes, a água precipitada segue diferentes caminhos (MMA, 2024). Neste caso, da água precipitada pode se infiltrar e percolar no solo ou nas rochas, formando aquíferos, ressurgir na superfície na forma de nascentes, fontes, pântanos, ou alimentar rios e lagos; escoar, nos casos em que a precipitação é maior do que a capacidade de absorção da superfície; evaporar retornando à atmosfera; ser absorvida pelas plantas, as quais liberam água para a atmosfera através da transpiração. O conjunto evaporação e transpiração é denominado de evapotranspiração (Lima, 2008; MMA, 2024).

O escoamento superficial da água de chuva ocorre quando a precipitação atinge diretamente o solo, sendo uma fase importante do ciclo hidrológico (Carvalho *et al.*, 2006). Em áreas com vegetação, a cobertura vegetal é essencial para proteger o solo contra a erosão provocada pela chuva, além de ajudar a regular a infiltração da água e o escoamento superficial. Entretanto, em áreas urbanizadas, a substituição da vegetação por construções,

vias pavimentadas e calçadas resulta em um aumento da impermeabilização do solo. Essa condição reduz significativamente a infiltração de água no solo, eliminando áreas de detenção natural e diminuindo a rugosidade da superfície (Becker, 2006).

Figura 1 - Ciclo hidrológico da água.



Fonte: Fisrwg, 1998.

De acordo com Teixeira (2014), a ocupação do solo com áreas residenciais, comerciais e a implementação de sistemas de drenagem podem provocar alterações significativas no comportamento da bacia hidrográfica, principalmente devido ao aumento do volume de escoamento superficial, cujas mudanças ocorrem em função da maior descarga de água no solo.

A urbanização provoca profundas mudanças nas bacias hidrográficas, especialmente no comportamento das enchentes. O uso e a ocupação do solo são os fatores principais que intensificam esses eventos, conforme apontado por De Lucca (2013). Tucci (2005) destacou que, com a impermeabilização provocada por telhados, ruas, calçadas e pátios, a água que antes se infiltrava no solo passa a escoar por condutos, aumentando o escoamento superficial. O autor complementou que o volume que antes fluía lentamente pela superfície, sendo absorvido pelas plantas, com a urbanização, passa a correr por superfícies impermeáveis e por sistemas de drenagem, exigindo maior capacidade de escoamento e adaptações nas seções e inclinações dos condutos e canais.

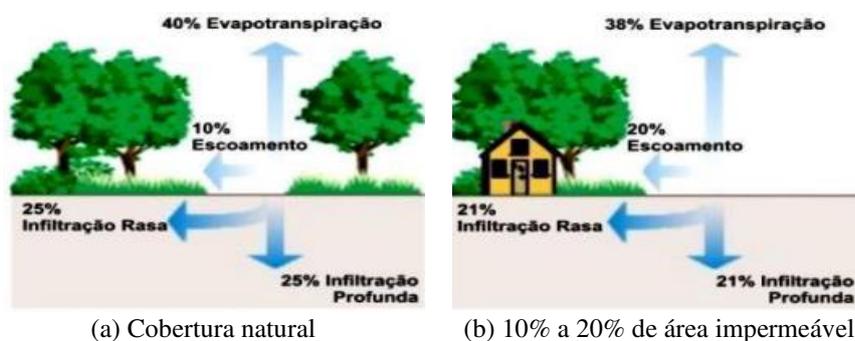
A urbanização crescente e desordenada provoca alterações no ciclo hidrológico, em especial nas áreas urbanas. Ainda, a urbanização transforma meio ambiente natural, tendo como consequência, a impermeabilização do solo (edificações e vias pavimentadas), a remoção da vegetação, as alterações morfológicas na topografia, mudança de trajetória de

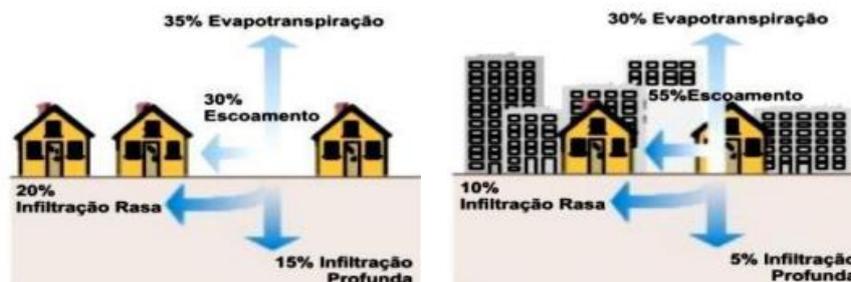
rios. Estas ações resultam em consequências como o assoreamento de rios urbanos, o aumento da magnitude e frequência de enchentes, a erosão dos solos e dos canais fluviais, e os movimentos de massa. Esses processos, quando combinados, culminam em uma degradação ambiental intensa (Booth, 1991; Coelho Netto, 1995; Tucci e Collischonn, 1998; Tucci, 2003; Vieira e Cunha, 2006; Cunha e Guerra, 2009; Botelho e Silva, 2010; Guerra e Mendonça, 2010).

O aumento do número de edificações, pavimentação de vias e calçadas transforma a paisagem natural dos centros urbanos, resultando na impermeabilização do solo e redução da permeabilidade. A conversão de áreas antes permeáveis em impermeáveis contribui para o desequilíbrio hidrológico, resultando no aumento do escoamento superficial, que está diretamente associado às enchentes em áreas urbanas (Tucci, 2006).

Com o aumento da impermeabilização do solo, é evidente a influência das alterações no ciclo hidrológico em decorrência do aumento das áreas impermeáveis, como ilustrado na Figura 2 (Fisrwg, 1998). A impermeabilização progressiva das superfícies altera significativamente o ciclo hidrológico, reduzindo a evapotranspiração e as taxas de infiltração, enquanto aumenta o escoamento superficial. Em áreas naturais (Figura 2a), 40% da água evapotranspira, 10% escoam superficialmente e 50% infiltra no solo, garantindo a recarga dos aquíferos. Com impermeabilização moderada (Figura 2b), a evapotranspiração diminui para 38%, o escoamento aumenta para 20% e a infiltração reduz para 42%. Em áreas com urbanização densa (Figura 2c), a evapotranspiração cai para 35%, o escoamento atinge 30% e a infiltração total reduz para 35%. No cenário mais extremo de impermeabilização (Figura 2d), a evapotranspiração reduz para 30%, o escoamento atinge 55%, e a infiltração total é limitada a apenas 15%, resultando em maior pressão sobre o sistema de drenagem e risco elevado de alagamentos.

Figura 2 - Relação entre cobertura impermeável e escoamento superficial.





(c) 35% a 50% de área impermeável

(d) 75% a 100% de área impermeável

Fonte: Adaptado de FISRWG, 1998.

Por meio da Figura 2, observa-se que o volume de escoamento superficial é mais elevado com o aumento da urbanização e impermeabilização do solo natural propiciada pelas edificações, vias pavimentadas e calçadas. Dessa maneira, assim, com o aumento das vazões de pico e redução do tempo de concentração na bacia, há um aumento da frequência e magnitude das inundações (Rezende,2018).

Neste contexto é importante a distinção dos conceitos, uma vez que é comum confundir uma inundação com uma enchente e estas com alagamentos ou enxurradas de grandes proporções ou velocidades. Embora tenham conceitos bastante distintos, são terminologias que se complementam, sendo que todas causam efeitos imediatos, diretos e indiretos à saúde humana. A Figura 3 ilustra as diferenças, conforme a seguinte conceituação:

- Inundação: representa o transbordamento das águas de um curso d'água, atingindo a planície de inundação ou área de várzea;
- Enchente: são definidas pela elevação do nível d'água no canal de drenagem devido ao aumento da vazão, atingindo a cota máxima do canal, porém, sem extravasar;
- Alagamento: acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem;
- Enxurrada: escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte, que pode ou não estar associado a áreas de domínio dos processos fluviais (Funasa, 2016).

Figura 3 - fenômenos relacionados à água em áreas urbanas enchente, inundação e alagamento.



Fonte: Defesa Civil, 2015.

Dubreuil *et al.* (2016) complementaram que as modificações provocadas pelo homem no planeta, não se restringem ao meio urbano, uma vez que extensas áreas de vegetação nativa são utilizadas em atividades como agricultura, mineração, pecuária, reservatórios, entre outras. Por outro lado, nas cidades, o balanço de energia é modificado de forma mais intensa. A impermeabilização do solo também influencia a absorção e reflexão de calor (Dubreuil *et al.*, 2016). As alterações na superfície urbana e as atividades desenvolvidas nessas áreas contribuindo para o aumento da temperatura nas cidades, fenômeno denominado de ilhas de calor urbano. Oke (1978) e Oke *et al.* (2017) definiram ilha de calor como o aumento das temperaturas urbanas como a diferença de temperatura entre áreas urbanas e as áreas não urbanas adjacentes, com a magnitude dessa diferença sendo influenciada pelas condições em ambos os ambientes e pelos sistemas atmosféricos atuantes.

As diferenças de temperatura são causadas pela combinação de vários fatores característicos do ambiente urbano, que influenciam significativamente o balanço energético na superfície. Esses fatores promovem a geração e acumulação de calor. Entre os principais fatores estão a geometria dos edifícios, a poluição do ar, a emissão de calor proveniente dos edifícios, o tráfego e o metabolismo dos organismos vivos. Além disso, as características das superfícies, como os materiais de construção e a cobertura do solo, também desempenham um papel crucial nesse processo (Menezes *et al.*, 2016).

2.2. Drenagem Urbana

Os sistemas de drenagem são partes integrantes da infraestrutura urbana de uma cidade, sendo projetados para coletar e conduzir as águas superficiais até um ponto de lançamento. A partir do dimensionamento, os sistemas de drenagem compostos por uma série de elementos, como sarjetas, canaletas, bueiros e galerias pluviais, são projetados e implantados. Este sistema é classificado como medida estrutural. Por outro lado, as medidas

não estruturais são: a manutenção preventiva, o monitoramento e alerta de cheias, que visam minimizar os riscos à população e propiciar conforto, possibilitando o desenvolvimento urbano de forma harmônica e ambientalmente sustentável (PMSP, 2012).

2.2.1. Sistemas convencionais de drenagem urbana

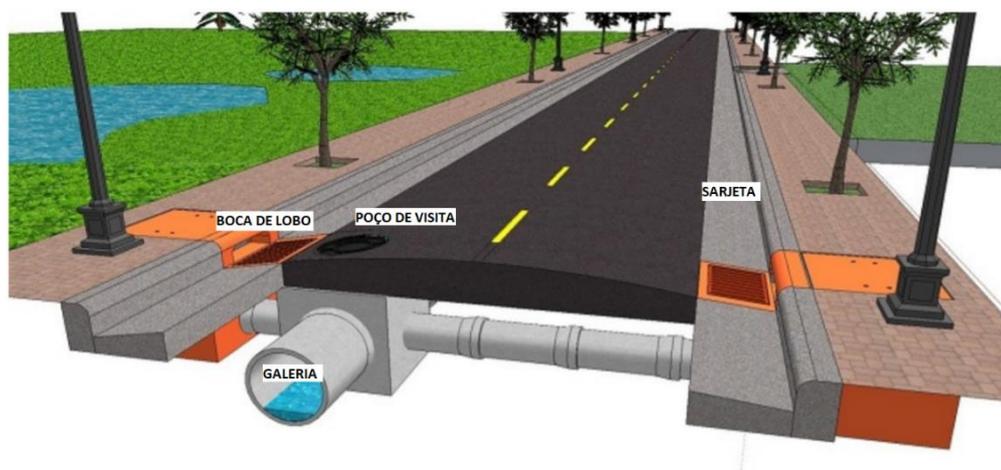
O manejo e a drenagem das águas pluviais urbanas envolvem uma série de atividades e estruturas destinadas à gestão eficiente do escoamento superficial. Essas ações abrangem a necessidade de infraestrutura para coletar, transportar, deter ou reter as águas, com o objetivo de mitigar os impactos de enchentes. Além disso, inclui o tratamento e a provisão final das águas drenadas, acompanhados de práticas como a limpeza regular das redes e a fiscalização preventiva para garantir sua funcionalidade e eficácia. (Brasil, 2007).

Nascimento *et al.*, (2018) ressaltou que os agentes responsáveis devem adotar um planejamento que incorpore um manejo adequado das águas pluviais, utilizando técnicas de micro e macrodrenagem como fundamentais para o controle sustentável da drenagem urbana.

O sistema de drenagem e manejo das águas pluviais urbanas pode ser classificado de acordo com suas dimensões em microdrenagem e macrodrenagem (Funasa, 2016).

A microdrenagem (Figura 4) é um sistema projetado para gerenciar o escoamento das chuvas em áreas urbanas, onde há um risco moderado de precipitação. Este sistema é definido como uma rede de canais pluviais ou condutos localizados no nível dos loteamentos ou na rede primária urbana. Este sistema promove benefícios como aumento da capacidade de vazão e direcionamento do volume de água para a jusante, essencial para garantir condições mínimas de tráfego de veículos e pedestres durante períodos chuvosos (Medau, 2018). Os componentes principais de um sistema convencional de microdrenagem incluem sarjetas, bocas de lobo, poços de visita, condutos forçados, galerias e estações de bombeamento (Bezerra *et al.*, 2016). Por meio destes elementos, a água precipitada é coletada e a conduzida para outro sistema, a macrodrenagem, geralmente através de canalizações subterrâneas, que transportam a água até as estações de tratamento ou outros locais receptores (Marques, 2019).

Figura 4 - Sistema de microdrenagem.



Fonte: Adaptado Sousa, 2011.

A macrodrenagem (Figura 5) refere-se a um sistema urbano que captura águas pluviais através de grandes galerias pluviais denominadas troncos coletores. Esse sistema inclui estruturas como galerias e dispositivos de dissipação de energia, como rampas dentadas, vertedores, blocos de impacto e degraus. A função principal é controlar a erosão urbana ao conduzir de forma adequada as águas da chuva até os cursos d'água receptores. No entanto, é fundamental considerar as mudanças no uso e ocupação do solo ao planejar sistemas de macrodrenagem (Ottoni *et al.*, 2018).

Figura 5 - Sistema de macrodrenagem.

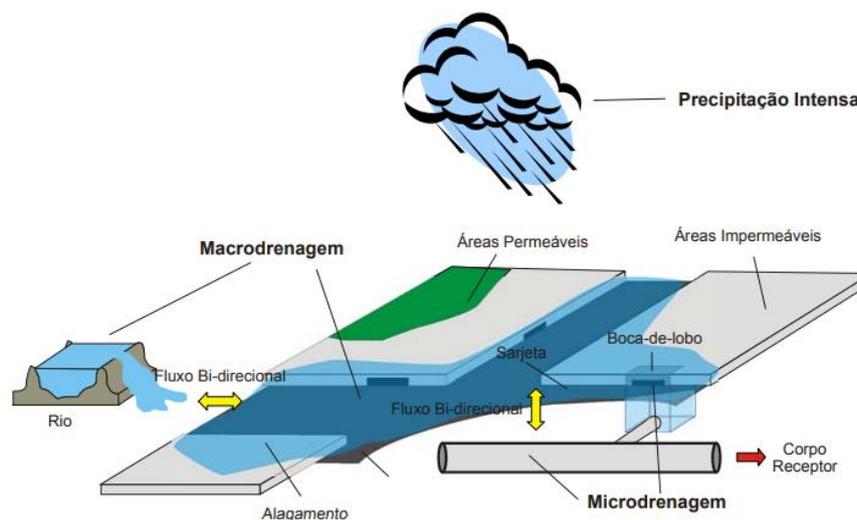


Fonte: Adaptado Pellegrino, 2011.

Ao planejar um sistema de macrodrenagem urbana, é recomendável considerar a adoção de canais abertos devido às suas vantagens significativas. Esses canais são valorizados pela facilidade de limpeza e manutenção, pela versatilidade na adoção de diferentes seções, pela economia nos custos iniciais e pela facilidade de expansão futura, se

necessária. Além disso, é crucial dimensionar esse sistema para suportar eventos extremos, planejando para um período de retorno de 25 anos a 100 anos, o que garante que os dispositivos possam lidar com grandes volumes de água durante eventos de pico (Farias, 2017).

Figura 6 - Sistema de drenagem.



Fonte: Meller, 2004.

Moura (2004) destacou que os sistemas de drenagem urbana têm a função de coletar as águas pluviais e conduzi-las para corpos d'água naturais, utilizando dispositivos de captação como canais abertos ou condutos subterrâneos, além de obras complementares que auxiliam no processo. No entanto, esse método tradicional apresenta algumas desvantagens, o que exige, em muitos casos, a ampliação das dimensões das canalizações, resultando em um aumento significativo nos custos. Entre as principais desvantagens estão:

- O aumento da velocidade do escoamento;
- A ocorrência de cheias e inundações nas áreas a jusante;
- A falta de cuidado adequado com a destinação final das águas coletadas.

O projeto de pavimentação modelo adotado pela Prefeitura Municipal de Florianópolis, contempla o dimensionamento geométrico, o perfil longitudinal e os respectivos detalhamentos. A drenagem pluvial é realizada por meio de tubos de concreto para a tubulação longitudinal e para a tubulação transversal, conforme as especificações da norma NBR 8890 (ABNT, 2018) e DNIT 094 (DNIT, 2014), com a instalação de caixas de captação e junção padrão (PMF, 2024).

2.2.2. Sistemas alternativos de drenagem urbana

Com a evolução do conceito ambiental associado à drenagem, surgiram soluções alternativas, compensatórias e sustentáveis que complementam as estruturas convencionais, buscando mitigar os impactos da urbanização tanto em termos quantitativos quanto qualitativos (Silva, 2007). Nesse contexto, são exemplos os seguintes sistemas: pavimentos permeáveis e semipermeáveis, reservatórios de retenção e detenção, trincheiras de infiltração, valas e valetas de infiltração, poços de infiltração, telhados verdes e faixas gramadas. Essas soluções visam melhorar a gestão das águas pluviais e promover a sustentabilidade ambiental nas áreas urbanas (Mariele *et al.*, 2012).

As formas alternativas de drenagem urbana, como barris de captação de água da chuva, jardins de chuva, valas de infiltração, áreas de amortecimento, pavimentos permeáveis, telhados verdes e ruas estreitadas, oferecem soluções sustentáveis para o manejo das águas pluviais.

- Barris de chuva são dispositivos de coleta de baixo custo conectados à calha de escoamento podem armazenar a água da chuva captada no telhado para uso posterior. Podendo utilizar essa água para atividades como irrigação de plantas ou lavagem de veículos pode diminuir a demanda sobre os recursos hídricos, especialmente em períodos de seca;
- Os jardins de chuva, também conhecidas como áreas de bioretenção, são depressões com plantas perenes ou arbustos que suportam condições de alta umidade e períodos de seca. Os jardins de chuva são projetados para reter a água por apenas algumas horas após uma tempestade, o que reduz a possibilidade de proliferação de mosquitos;
- Valas de infiltração, por sua vez, são canais rasos com vegetação densa, geralmente localizados ao longo de estradas e estacionamentos, que ajudam a filtrar poluentes, aumentar a recarga de águas subterrâneas e reduzir a erosão, desacelerando o fluxo de escoamento;
- Áreas de amortecimento, que podem ser naturais ou paisagísticas, agem como uma barreira entre corpos d'água e zonas de uso intenso do solo, impedindo que sedimentos e poluentes atinjam os cursos d'água;
- Telhados verdes, compostos por sistemas de solo e plantas, detêm, absorvem e filtram a água das chuvas, reduzindo o escoamento superficial dos telhados;
- O uso de pavimentos permeáveis, com diversos tipos de revestimentos (concreto asfáltico drenantes, blocos intertravados de concreto drenantes (*pavers*) e concreto permeável), permite que a água da chuva infiltre diretamente no solo, diminuindo o

volume de escoamento direcionado aos sistemas de drenagem tradicionais, aumentando a infiltração de água no solo e contribuindo para uma menor carga sobre os sistemas de esgoto pluvial, além de melhorar a estética e segurança das ruas urbanas.

Essas técnicas colaboram para uma gestão mais eficiente da drenagem urbana, mitigando os impactos ambientais e promovendo a sustentabilidade no planejamento urbano (Connecticut, 2024).

Com o objetivo de aumentar a infiltração do solo, melhorar o equilíbrio do ciclo hidrológico e incentivar o uso da água pluvial, surgiu o conceito de Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável (SUDS) em países escandinavos. Esse conceito evoluiu a partir da abordagem sanitário-higienista, que prioriza a rápida remoção das águas pluviais e efluentes urbanos para preservar a saúde pública e eliminar problemas como odores e degradação da paisagem (Jones e MacDonald, 2007).

Mariele *et al.* (2012) afirmaram que o SUDS apresenta suas vantagens e desvantagens. Portanto, é possível enumerar pontos positivos e negativos sobre sua utilização. Entre os diferentes dispositivos apresentados, diversos pontos positivos se destacam, tais como:

- Aumentar as taxas de infiltração das águas pluviais contribui significativamente para a recarga dos aquíferos. No entanto, é crucial considerar que as águas provenientes de bacias urbanizadas contêm elevadas concentrações de poluentes. Portanto, sua utilização requer estudos mais aprofundados e conclusivos.
- A redução do escoamento superficial por meio de retardo, retenção ou aumento da infiltração das águas pluviais promove o controle de processos erosivos em áreas urbanas e em canais fluviais adjacentes. Além disso, essa medida auxilia no controle de problemas de inundações.
- A retenção da água pluvial para uso posterior em atividades menos nobres, como regar jardins, descarga em vasos sanitários, e lavar calçadas, pode aliviar a carga nas Estações de Tratamento de Água locais. Isso também pode reduzir os custos com manutenção em áreas residenciais e comerciais.

É importante considerar os desafios a serem superados para melhorar o desempenho e incentivar a aplicação desses sistemas. Entre os principais problemas estão:

- A necessidade de manutenção frequente pode ser mitigada por meio de programas de educação ambiental, uma vez que a maioria dos problemas resulta do lançamento de resíduos sólidos pela própria população ou de sedimentos provenientes de obras civis que não aderem aos princípios fundamentais de proteção do solo.
- O custo elevado associado à implantação de sistemas pode ocorrer quando são necessárias adaptações em sistemas pré-existentes. No entanto, esses custos podem ser

reduzidos quando o planejamento é integrado, permitindo que os sistemas se complementem mutuamente. Em diversas situações, a implementação desses sistemas tem evitado a necessidade de readequação da rede de drenagem convencional, pois contribui para a diminuição do volume de água a ser drenado.

- Esses sistemas não são capazes de suportar altas cargas de sedimentos e apresentam risco de colmatção. Portanto, é essencial buscar novas soluções para reduzir a produção de sedimentos na fonte, bem como desenvolver pré-sistemas que possam reter os sedimentos antes que eles cheguem aos dispositivos instalados.

De maneira geral, a implantação de alguns sistemas componentes dos SUDS (Sistemas de Drenagem Urbana Sustentável) não implica em custos elevados. Assim, ao realizar uma análise de viabilidade econômico-ambiental, os SUDS demonstram uma relação custo-benefício favorável (Mariele *et al.*, 2012)

Uma das medidas alternativas de auxílio à drenagem urbana é o pavimento permeável, objeto deste estudo.

2.3. Pavimentos de vias urbanas

A pavimentação de vias, pátios de estacionamento e calçadas contribui para o aumento das áreas impermeáveis nos centros urbanos. Em geral, as camadas de revestimento são impermeáveis, sendo, em misturas asfálticas densas, concreto de cimento Portland e *pavers*. Assim, a impermeabilização promovida pela pavimentação, associada à inadequada rede de drenagem e urbanização, contribui para a ocorrência de inundações e alagamentos sob precipitação intensa e prolongada.

Santos *et al.* (2012) afirmaram que com a impermeabilização do solo, a infiltração da água das chuvas é menor e conseqüentemente, escoamento superficial aumenta, sobrecarregando os sistemas de drenagem urbana.

Em muitos centros urbanos, até 60% da área total impermeabilizada pode ser atribuída áreas pavimentadas (vias, pátios de estacionamentos, calçadas, parques), enquanto as edificações, representam cerca de 20% a 40% (Vujovic *et ali.*, 2023; Rutgers, 2022).

2.4 Pavimentos Permeáveis

Pavimentos permeáveis são estruturas compostas por camadas drenantes que possibilitam a infiltração da água de chuva (ABNT, 2015).

De acordo com a *United States Geological Survey* (USGS, 2019) o pavimento permeável é caracterizado por uma estrutura drenante, composta por uma camada de revestimento em materiais também drenantes (blocos intertravados de concreto permeável ou concreto asfáltico) sobreposta a camadas de materiais (areia e britas) com granulometria aberta e elevado volume de vazios. Esse sistema permite a captação de água da chuva e do escoamento superficial, retendo-a temporariamente no reservatório enquanto promove a infiltração gradual no solo ou o direcionamento do excesso de água para um sistema de drenagem. As principais aplicações desse tipo de pavimento incluem estacionamentos, vias com tráfego reduzido, calçadas e acessos residenciais.

Um dos benefícios atribuído aos pavimentos permeáveis é a redução da concentração de poluentes contidos no escoamento superficial e na água da chuva, melhorando a qualidade da água que infiltra no solo ou é conduzida aos elementos de drenagem (Polastre *et al.*, 2006). Outros benéficos relacionados aos pavimentos permeáveis, são hidrológicos, promovendo um equilíbrio mais natural no ciclo da água ao reter e liberar lentamente a precipitação no solo, reduzindo o volume e as taxas de escoamento superficial, o que evita grandes picos de descarga no sistema de drenagem. Esse tipo de pavimento também contribui para a diminuição da concentração de poluentes, seja fisicamente, retendo-os no pavimento ou no solo; quimicamente, por meio da ação de microrganismos que decompõem substâncias nocivas; ou biologicamente, com plantas que crescem entre os blocos absorvendo e armazenando poluentes. Além disso, o pavimento permeável ajuda a resfriar a temperatura do escoamento urbano, reduzindo o impacto em ecossistemas aquáticos, e, ao controlar o escoamento na origem, pode diminuir a necessidade de grandes estruturas de controle regional, gerando economia de recursos (USGS, 2019).

Estudos comprovaram o potencial dos pavimentos permeáveis como uma técnica auxiliar no planejamento urbano sustentável a atingir aspectos de sustentabilidade e resiliência às mudanças climáticas. Dentre os principais benefícios dessa técnica estão incluídos a capacidade de filtrar poluentes, dissipar o escoamento urbano com menor velocidade (Ghisi *et al.*, 2021)

Outra alternativa que auxilia a redução do volume de *runoff* é o uso de camadas de revestimento drenantes, constituídas misturas asfálticas drenantes, *pavers* drenantes ou concretos permeáveis assente em uma camada impermeável e demais camadas comumente usadas no dimensionamento de pavimentos flexíveis. Quando apenas a camada de revestimento é drenante, as demais camadas são impermeáveis, a água que infiltra no revestimento é direcionada para sistemas de drenagem ou pode escoar até a borda do pavimento (Neithalath *et al.*, 2006). Xie *et al.* (2018) acrescentaram que os revestimentos

drenantes são considerados como uma alternativa de baixo impacto, auxiliando no gerenciamento da drenagem em obras de infraestrutura.

Pavimentos permeáveis ou pavimentos com revestimentos drenantes, devido ao elevado volume de vazios, apresentam desempenho mecânico inferior quando comparado ao pavimento convencional e assim, a aplicação tem sido restrita à pátios de estacionamentos, vias de tráfego leve ou rodovias com baixo volume de tráfego (Weiss *et al.*, 2017).

Hammes (2022), conduziu um estudo e produziu uma mistura asfáltica drenante com um ligante altamente modificado (HiMA). No estudo, a mistura drenantes obteve elevado desempenho à fadiga, o que mostra ser possível a melhoria de desempenho mecânico de misturas asfálticas drenantes e possibilidade de aplicação em condições mais severas de tráfego.

2.4.1. Tipos de pavimentos permeáveis

De acordo com a *American Society of Civil Engineers* (Sociedade Americana de Engenheiros Civis), em geral, os pavimentos permeáveis podem ser implantados em diversos tipos de terrenos (ASCE, 2013). No entanto, há restrições quanto ao tipo de solo do subleito e que pode influenciar e direcionar o projeto do pavimento.

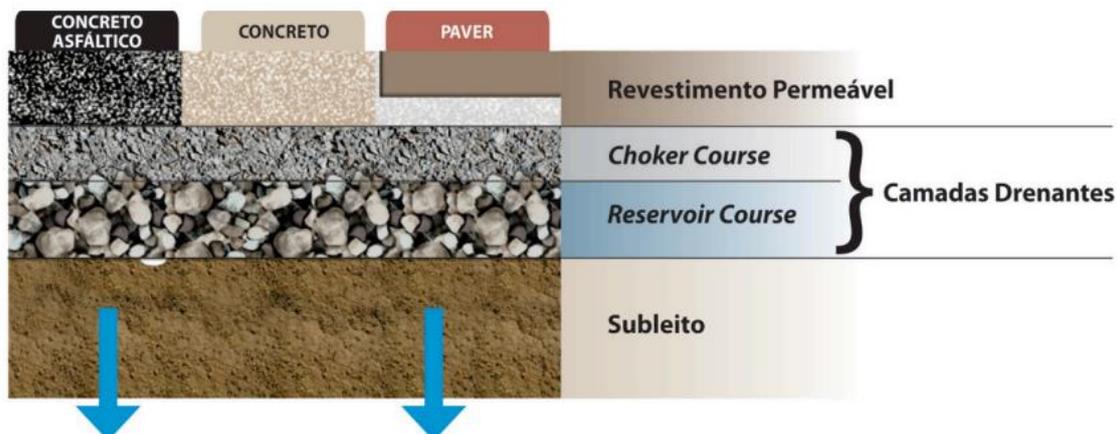
Em relação à infiltração de os pavimentos são classificados em três tipos, sendo: Tipo A - com infiltração total; Tipo B - com infiltração parcial e Tipo C - sem infiltração (CIRIA, 2015).

Tipo A: Pavimento com infiltração total

No pavimento permeável de infiltração total (Tipo A), toda a água que infiltra atravessa as camadas drenantes e é conduzida ao subleito. Parte da água que não infiltra, escoar e é conduzida aos elementos de drenagem superficial (sarjetas). Esse tipo de pavimento é adequado para locais onde o solo possui alta permeabilidade e o nível do lençol freático se encontra suficientemente baixo (ASCE, 2013). Sempre é necessário projetar e implantar sistemas de drenagem devido à ocorrência de chuvas intensas que superem a chuva de projeto e ainda pelo motivo da a eficiência do sistema diminuir ao longo do tempo por colmatação e redução da capacidade de infiltração (CIRIA, 2015).

A Figura 7 apresenta um exemplo de pavimento de infiltração total, com diferentes tipos de camadas de revestimentos permeáveis.

Figura 7 - Pavimento com infiltração total.

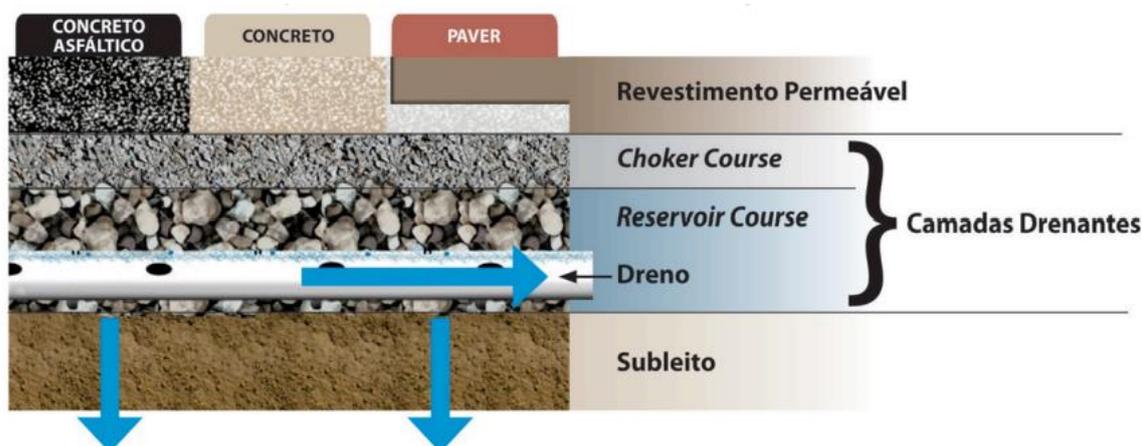


Fonte: Adaptado de ASCE (2013).

Tipo B: Pavimento com infiltração parcial

O pavimento permeável com infiltração parcial (Tipo B) é projetado para permitir que parte da água seja absorvida pelo subleito, enquanto o excedente é direcionado para fora do sistema através de drenos (CIRIA, 2015). Essa solução é adotada em áreas onde o subleito tem baixa permeabilidade, o que impede que o solo consiga infiltrar toda a água precipitada em um tempo adequado e ainda em projetos de reuso da água coletada (ASCE, 2013). A Figura 8 mostra a configuração de um pavimento com infiltração parcial.

Figura 8 - Pavimento com infiltração parcial.



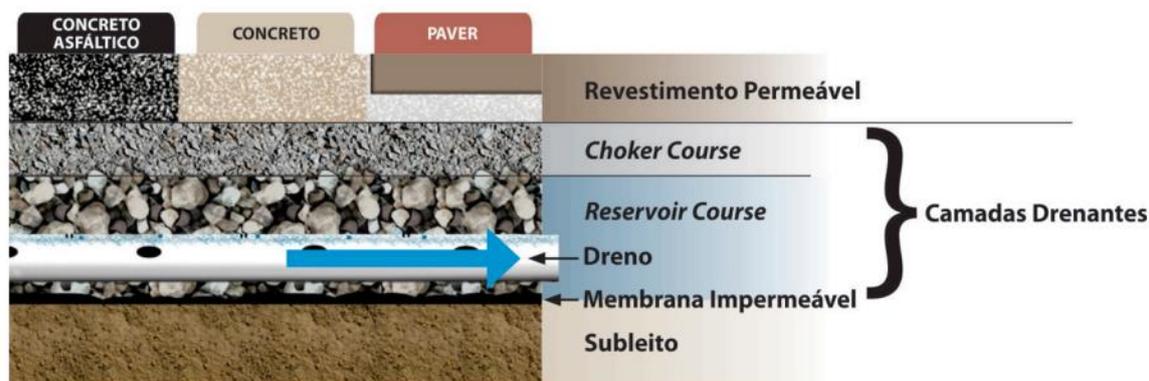
Fonte: Adaptado de ASCE (2013).

Tipo C: Pavimento sem infiltração

O pavimento sem infiltração (Tipo C) é projetado para que toda a água coletada seja drenada para fora do sistema. Esse tipo de pavimento é recomendado em situações onde o subleito possui baixa permeabilidade ou resistência, o que poderia comprometer a estabilidade do pavimento ao entrar em contato com a água. Além disso, o uso de pavimentos sem infiltração é indicado quando o lençol freático, a partir da camada de reservatório

(*reservoir course*), esteja a menos de um metro de profundidade, ou quando há a intenção de captar e reutilizar a água da chuva (CIRIA, 2015). A Figura 9 apresenta a configuração de um pavimento sem infiltração. Ressalta-se que neste tipo de pavimento, a água não se infiltra no subleito, protegido por manta impermeável.

Figura 9 - Pavimento sem infiltração.

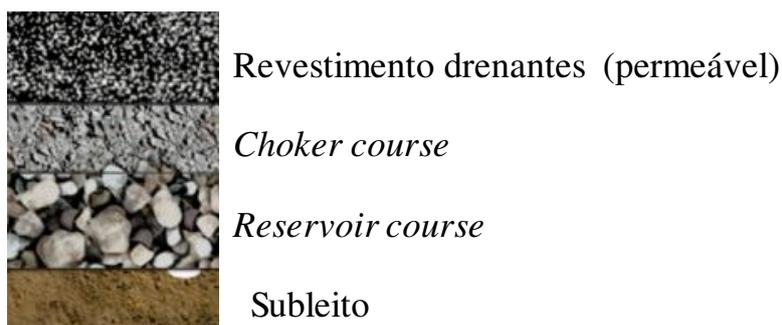


Fonte: Adaptado de ASCE (2013).

2.4.2 Sistema de camadas drenantes

Além da camada de revestimento drenante ou permeável, os pavimentos permeáveis podem ser compostos por camadas também drenantes, estabelecidas (tipo de material e espessuras) dependendo da finalidade e dimensionamento (hidráulico e mecânico). Nos pavimentos flexíveis convencionais, as camadas constituintes em geral são: revestimento, base, sub-base, reforço do subleito e subleito. No caso de pavimentos permeáveis, a estrutura é similar, porém a denominação das camadas é diferente. A Figura 10 ilustra a estrutura típica de um pavimento permeável, a seguir descritas.

Figura 10 - Estrutura típica de um pavimento permeável.



Fonte: Adaptado de ASCE (2013).

Choker Course - Camada após a de revestimento, sendo sua função o nivelamento. Os materiais componentes são agregados britados, limpos com granulometria uniforme e tamanho nominal de aproximadamente 1,27 cm ($\frac{1}{2}$ polegada) (ADAMS *et al.*, 2001; RWMWD, 2006). O projetista pode escolher as dimensões dos agregados, mas é importante que a granulometria seja uniforme e de pequenas dimensões para permitir o nivelamento da superfície (FHWA, 2015; HANSEN, 2008).

A *Federal Highway Administration* (FHWA, 2015) dos Estados Unidos da América (EUA) recomenda que a espessura da camada de *choker course* deve ser de cerca de 2,54 cm (1 polegada), enquanto Adams *et al.* (2001) recomendam uma espessura de aproximadamente 5,08 cm (2 polegadas). O Centro de Águas Pluviais da Universidade de New Hampshire indica uma espessura entre 10 e 20 cm, escolhida em função do volume de tráfego mais intensos (UNHSC, 2014).

Reservoir Course - Essa camada é projetada para atender tanto às exigências estruturais do pavimento quanto à sua capacidade de armazenar água pluvial (ASCE, 2013) tendo outra denominação, de *stone recharge bed* (RWMWD, 2006). É requerido um volume de vazios de aproximadamente 40%, permitindo o armazenamento temporário da água e sua infiltração gradual no subleito ou captação por sistemas de drenagem.

A *reservoir course* deve ser composta por agregados graúdos com granulometria uniforme e angular, que deve ser lavado e conter poucos finos. Adams *et al.* (2001) recomendam o uso de agregado britado de grandes dimensões, geralmente entre 5,08 cm e 6,35 cm de diâmetro (2 a 2,5 polegadas). A *American Society of Civil Engineers* (ASCE, 2013) não estabelece uma faixa de tamanho nominal, de modo que a escolha depende da disponibilidade local, desde que a granulometria seja uniforme e elevado volume de vazios para proporcionar capacidade de armazenamento de água. O uso de agregados de origem calcária não é recomendado pela fragilidade e sob carregamento podem ocorrer quebras e causar entupimento do sistema, comprometendo a capacidade de armazenamento (RWMWD, 2006)

A espessura da *reservoir course* varia de acordo com o tráfego previsto, capacidade de armazenamento necessária, permeabilidade do subleito e destinação da água coletada. Para sistemas de infiltração total ou parcial, a espessura do reservatório depende diretamente da capacidade de infiltração do subleito, além da vazão dos drenos (quando presentes). Em sistemas sem infiltração, a espessura do reservatório, uma vez determinada a chuva de projeto, é influenciada apenas pela capacidade de escoamento dos drenos (UNHSC, 2014).

O UNHSC (2014) recomenda espessuras mínimas de 10 cm para pavimentos com infiltração em solos de subleito de alta permeabilidade, e 20 cm para pavimentos sem infiltração, que utilizam drenos e o abaulamento não deve exceder 5%.

Quando utilizados, os tubos perfurados devem ser instalados com espaçamento de 3 a 8 metros (Araújo *et al.*, 2000). Em sistemas que permitem a infiltração da água no solo, os drenos são posicionados a pelo menos 10 cm acima da base da *reservoir course*. Caso o sistema não preveja infiltração, os drenos são instalados no fundo da camada (UNHSC, 2014).

De acordo com Araújo *et al.*, (2000), o sistema deve ser capaz de esgotar o volume de água em um período de 6 a 12 horas. Já Tomaz (2009) sugere que esse tempo pode variar entre 24 e 72 horas. Em outra abordagem, Pratt (1999) relata o uso de pavimento permeável como um reservatório permanente em um sistema de captação de água de um albergue no Reino Unido, onde o pavimento armazena tanto a água infiltrada quanto a precipitação captada do telhado da edificação.

Geotêxtil e Impermeabilizante - De acordo com RWMWD (2006) e FHWA (2015), em sistemas com infiltração de água no solo, a *reservoir course* deve ser colocada sobre uma manta geotêxtil. Essa manta permite a passagem da água enquanto impede que o solo do subleito se misture com a camada de pedra britada. No entanto, o uso de mantas geotêxtis na base da *reservoir course* pode prejudicar o desempenho do sistema, pois com o tempo, a manta pode colmatar, dificultando a infiltração da água. Se for necessário utilizar uma camada de separação, recomenda-se uma fina camada de brita. A manta geotêxtil deve ser usada apenas para proteger as laterais escavadas da *reservoir course*, evitando a erosão. Por outro lado, não há consenso sobre o uso de mantas permeáveis, por causa da possibilidade de entupimento prematuro (colmatação), mas é necessária no caso de solos do subleito com baixa capacidade de suporte ou elevado percentual de finos (ASCE, 2013).

Para pavimentos permeáveis sem infiltração, é fundamental que a estrutura seja estanque, o que exige o uso de membranas impermeáveis. Assim como em outros sistemas, essa membrana deve ser colocada entre a camada de reservatório e o subleito (UNHSC, 2014).

2.4.3 Dimensionamento estrutural

O dimensionamento de pavimentos permeáveis é realizado da mesma forma para os convencionais. Neste estudo optou-se pelo uso de camada de revestimento com blocos de

concreto intertravados. No Brasil comumente é usada a norma da Prefeitura de São Paulo para dimensionamento de pavimento com blocos intertravados de concreto IP – 06/2004 (PMSP, 2004). Na norma, o método estabelece os parâmetros e fornece os dados necessários para o dimensionamento do pavimento intertravado (PMSP, 2004). O parâmetro geotécnico é o Índice de Suporte Califórnia (ISC ou *California Bearing Ratio* – CBR) do subleito, enquanto que o tráfego é estabelecido por meio do número N, que é o número de repetições do eixo simples padrão de 8,2 tf ou 80 kN, onde durante o período de projeto. Em função do tipo de via, a norma estabelece a faixa de N a ser adotada, podendo ser feita a contagem de veículos para o cálculo de N (PMSP, 2004).

Na norma há dois métodos para o dimensionamento de pavimentos com blocos pré-moldados de concreto em vias urbanas: o procedimento "A", adaptado da *British Cement Association* (BCA) pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e o procedimento "B", estabelecido a partir dos estudos do Corpo de Engenheiros do Exército Americano (USACE). O procedimento "A" é recomendado para vias de tráfego mais leves, enquanto que o procedimento "B" sendo mais indicado para o dimensionamento de vias de tráfego médio a meio pesado.

2.4.4 Dimensionamento hidráulico

O dimensionamento hidráulico do pavimento permeável está relacionado à espessura necessária da camada de reservatório *reservoir course*. Durante um evento extremo de chuva, essa camada pode ser preenchida pela água pluvial, evitando o escoamento superficial. Enquanto a água é drenada para um reservatório inferior auxiliar, a *reservoir course* se enche, sendo necessária uma folga de espessura para evitar o transbordamento da água pelo revestimento permeável (Vaz, 2019).

2.4.5 Manutenção

Conforme a FHWA (2015), pavimentos permeáveis com revestimento de concreto asfáltico drenante têm sido utilizados com sucesso nos Estados Unidos há de 35 anos. Para garantir a eficiência a longo prazo desses pavimentos, recomenda-se que a superfície seja aspirada ou lavada com água pressurizada, removendo assim sólidos e detritos que possam causar obstruções permanentes no sistema.

As recomendações sobre a frequência de manutenção variam. A FHWA (2015) indica que essa manutenção seja realizada de duas a quatro vezes ao ano, enquanto que a CIRIA

(2015) recomenda ser necessária uma manutenção anual, cuja frequência deve ser ajustada por meio de monitoramento das taxas de infiltração do pavimento.

A ABNT (2015), considera que devem ser realizadas intervenções de manutenção sempre que existirem condições que comprometam seu desempenho mecânico ou hidráulico. Os reparos no pavimento devem utilizar os mesmos tipos de materiais do pavimento original, sendo proibido o uso de revestimentos impermeáveis ou outros materiais que possam evidenciar o reparo ou prejudicar o desempenho do pavimento. A verificação do desempenho do pavimento permeável em relação à permeabilidade deve ser realizada periodicamente. Quando o pavimento, após determinado período de uso, apresentar um coeficiente de permeabilidade menor ou igual a 10^{-5} m/s, devem ser executadas ações de limpeza para recuperar a capacidade de permeabilidade do pavimento.

As etapas recomendadas para a limpeza são as seguintes:

- Remoção de sujeiras e detritos da superfície do pavimento por meio de varrição mecânica ou manual;
- Aplicação de jato de água sob pressão;
- Uso de equipamento de sucção para retirada de partículas finas;
- Recomposição do material de rejuntamento (quando aplicável).
- É proibido o uso de produtos químicos ou água contaminada na limpeza do pavimento.

Após a execução das etapas de limpeza, deve-se medir novamente o coeficiente de permeabilidade do pavimento. As áreas que passaram pela limpeza devem apresentar, no mínimo, 80% do coeficiente de permeabilidade especificado.

2.4.6 Aplicações e estudos com pavimentos permeáveis

Pavimentos permeáveis são usados como uma solução SUDS em vários países europeus. Na Dinamarca, essas soluções são consideradas recentes. O primeiro pavimento permeável foi construído e implantado em 2012 em uma rodovia com tráfego leve localizada próximo ao Aeroporto de Billund. Desde então, aproximadamente 40 rodovias foram implantadas com pavimentos permeáveis com revestimento em concreto asfáltico drenantes em toda a Dinamarca (Muttuvelu *et al.*, 2022).

Um estudo realizado no estado do Texas (EUA), comparou pavimentos permeáveis com pavimentos convencionais para a mitigação do escoamento urbano. Os resultados demonstraram que os pavimentos permeáveis não apenas reduziram os volumes de escoamento, mas também atenuaram o pico de fluxo em diferentes intensidades de precipitação (Alam *et al.*, 2019).

No estacionamento principal da WSU Puyallup, localizado na cidade de Puyallup, estado de Washington (EUA), está sendo realizada uma pesquisa, com asfalto permeável e concreto permeável, para monitorar a infiltração, coleta de água e níveis de poluição ao longo do tempo. O espaço destinado contempla quatro vagas de estacionamento e faixas de rodagem. Estas estruturas são monitoradas continuamente por poços que registram os níveis de água subterrânea. As portas de amostragem permitem acesso à base agregada e ao subleito, possibilitando a medição das concentrações de substâncias poluentes ao longo do tempo, o que auxilia na avaliação de sua eficácia para controle de poluição e drenagem em pavimentos permeáveis. Estes pavimentos possibilitam aplicações de água de chuva sintética e emissões controladas para análise de impacto e eficácia em longo prazo (WSC, 2024).

Na cidade de Bagé, no Rio Grande do Sul executou-se um pavimento permeável para o estacionamento de um atacado (Figura 11). Este sistema, ao captar e armazenar diretamente a água pluvial, elimina a necessidade de sistemas ocasionais, como galerias e tubulações, simplificando custos e otimizando o custo-benefício. Além disso, a solução possibilita a infiltração eficiente da água no solo, promovendo recarga do lençol freático e reaproveitamento da água, com qualidade superior e sem ocorrência de empoçamentos, garantindo área trafegável (ABCP, 2024).

Figura 11 - Áreas de estacionamento com pavimento em concreto permeável e áreas de circulação, com pavimento de em concreto convencional.



Fonte: ABCP, 2024.

Estudos realizados na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), buscaram quantificar a água retida no pavimento devido à absorção dos materiais. Esse parâmetro é

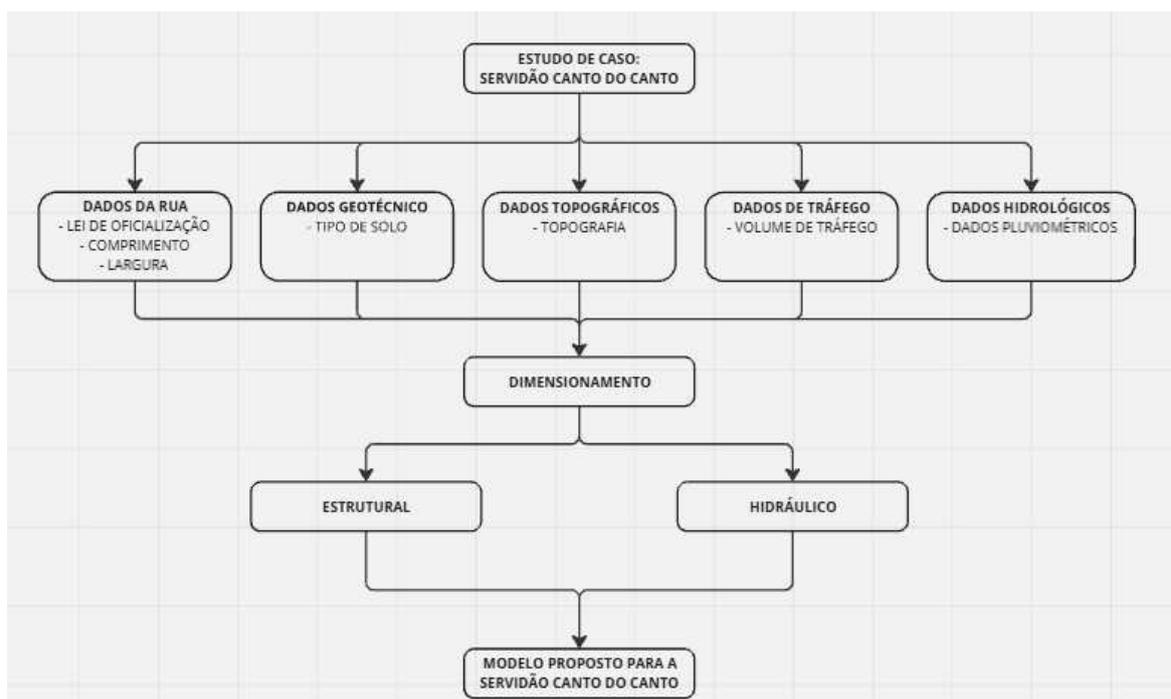
essencial, pois se relaciona diretamente com a quantidade de água que chega à drenagem, infiltra no subleito ou é captada para reuso. Os resultados apresentaram taxas de infiltração variando entre 70% e 88%, considerando diferentes tipos de revestimento, como blocos de concreto de cimento Portland e lajes de concreto asfáltico. A capacidade de infiltração dos pavimentos permeáveis foi superior a 80%, exceto nos casos em que foi utilizada uma camada de areia, a qual reteve uma parcela significativa da água (Ghisi *et al.*, 2021)

Um estudo realizado em Nanquim, na China, demonstrou que pavimentos permeáveis reduziram o escoamento superficial em 1 a 40% e o pico de vazão em 7 a 43% durante um evento de tempestade de 12 horas com precipitação total de 113,8 mm. Observou-se que o desempenho hidrológico desses pavimentos diminuiu à medida que o teor inicial de água aumentou. Em comparação com pavimentos sem água retida inicialmente, a eficácia de pavimentos com 50% de teor inicial de água reduziu o escoamento total em 57 a 85% e o pico de vazão em 37 a 67% (Li *et al.*, 2018).

3 METODOLOGIA

O estudo consiste no dimensionamento de um pavimento permeável e avaliação da viabilidade de implantação em uma servidão. O estudo de caso foi conduzido na Servidão Canto do Canto, com extensão de 100 metros no município de Florianópolis, Santa Catarina. A metodologia consiste em quatro fases, ilustradas no fluxograma apresentado na Figura 12 e a seguir descritas:

Figura 12 - Fluxograma da metodologia.



Fonte: Autor, 2024.

3.1 Área de estudo

Florianópolis é uma cidade brasileira (Figura 13a), capital do estado de Santa Catarina (Figura 13b) e está localizada na região sul do país. No que se refere ao saneamento, 87,8% dos domicílios possuem esgotamento sanitário adequado, enquanto 54,4% das vias urbanas contam com elementos essenciais como bueiros, calçadas, pavimentação e meio-fio. Além disso, apenas 32% da área urbana da cidade apresenta arborização nas vias públicas, evidenciando desafios na promoção de um ambiente urbano mais sustentável (IBGE, 2022).

Figura 13 - Localização área de estudo.

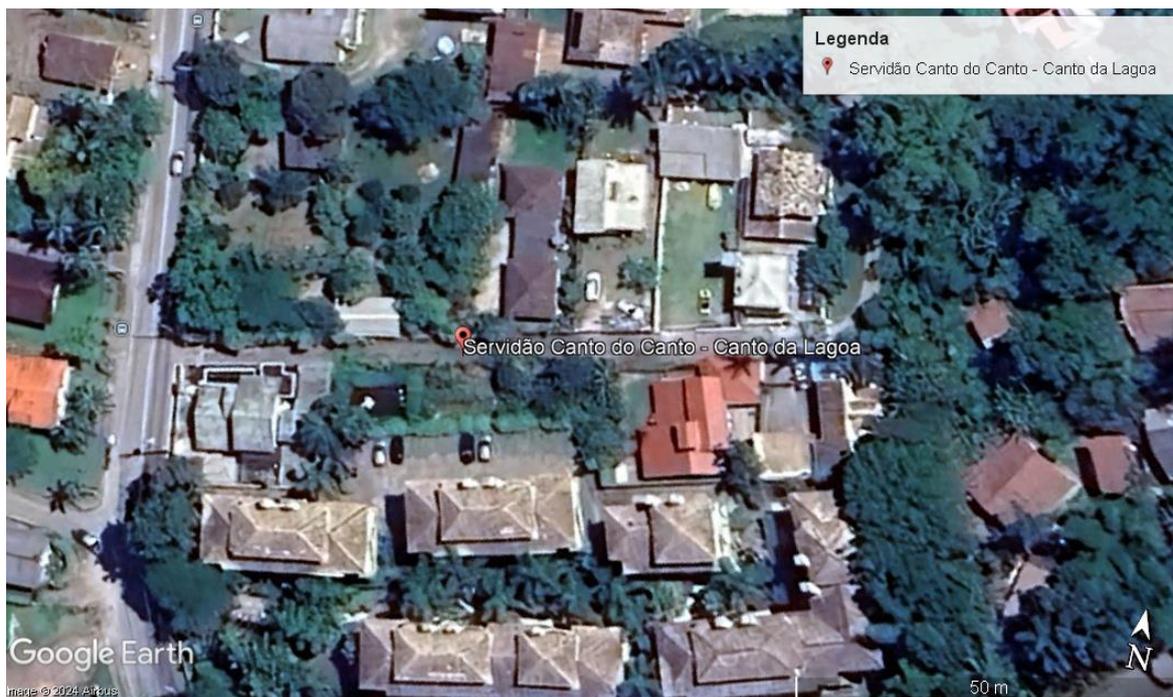


Fonte: PMF, 2023

Figura 14 - Localização do estudo no bairro da Lagoa da Conceição.

Fonte: Adaptado de *Google Earth*® (2024).

Figura 15 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição



Fonte: Adaptado de *Google Earth*® (2024).

Florianópolis tem enfrentado episódios de alagamentos e inundações com frequência, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Em novembro de 2023, a cidade registrou volumes históricos, com aproximadamente 200 mm em apenas 24 horas. As regiões afetadas mais foram bairros como Rio Tavares, Campeche e Santa Mônica, onde ruas ficaram completamente alagadas, e várias estradas tiveram interdições parciais devido ao acúmulo de água e erosão (Meteoreado, 2024).

3.2 Estudo de caso

O estudo de caso foi desenvolvido na Servidão Canto do Canto, localizada no bairro Lagoa da Conceição. A escolha desta via justifica-se por sua inserção em um bairro de significativa relevância histórica e turística, que enfrenta desafios recorrentes no manejo de águas pluviais, especialmente durante períodos de chuvas intensas. Além disso, a seleção deste local foi motivada pela minha atuação profissional na Secretaria de Infraestrutura do município de Florianópolis, órgão no qual a via em questão foi identificada como representativa de problemas comuns a outras vias similares no município, configurando-se como uma preocupação.

A servidão tem sete residências e um terreno baldio, o que reflete o perfil de ocupação local. De acordo com dados fornecidos pela Prefeitura Municipal de Florianópolis (PMF), a

Servidão Canto do Canto possui atualmente cerca de 100 metros de extensão e uma largura de 3,50 metros.

Visitas técnicas ao local do estudo de caso

As visitas técnicas realizadas na servidão Canto do Canto foram conduzidas com o objetivo de observar e registrar as condições estruturais e funcionais da via em cenários diferentes de clima, incluindo períodos de sol e chuva. Essas observações tiveram como foco a análise do comportamento natural da via sem intervenção.

Nos dias de chuva, o foco das observações foi voltado para a capacidade de escoamento das águas pluviais, identificação de áreas sujeitas ao acúmulo de água e impactos no estado de conservação da via. Em dias de sol, a análise concentrou-se no desgaste visível da superfície e degradação da faixa de rolamento. Esses dados foram registrados e documentados para posterior análise quantitativa e qualitativa, visando fornecer um embasamento técnico robusto para propostas de intervenção e melhorias.

As visitas de campo foram realizadas em 30 de setembro de 2024 e 02 de outubro de 2024, durante as quais foi aplicado um questionário aos moradores locais, conforme apresentado no Quadro 1.

Quadro 1 - Questionário realizado com os moradores.

Pesquisa para projeto de Pavimentação permeável – Servidão Canto do Canto.

1. Qual é o seu nome?
2. Há quanto tempo você mora aqui na servidão?
3. Como você descreveria as condições da servidão atualmente?
4. Que tipos de veículos costumam circular aqui? (carros, motos, caminhões)
5. Durante as chuvas, como ficam as condições da via? Isso afeta o acesso dos moradores ou dos serviços?
6. Quais seriam os principais benefícios, na sua opinião, que a pavimentação traria para a servidão?

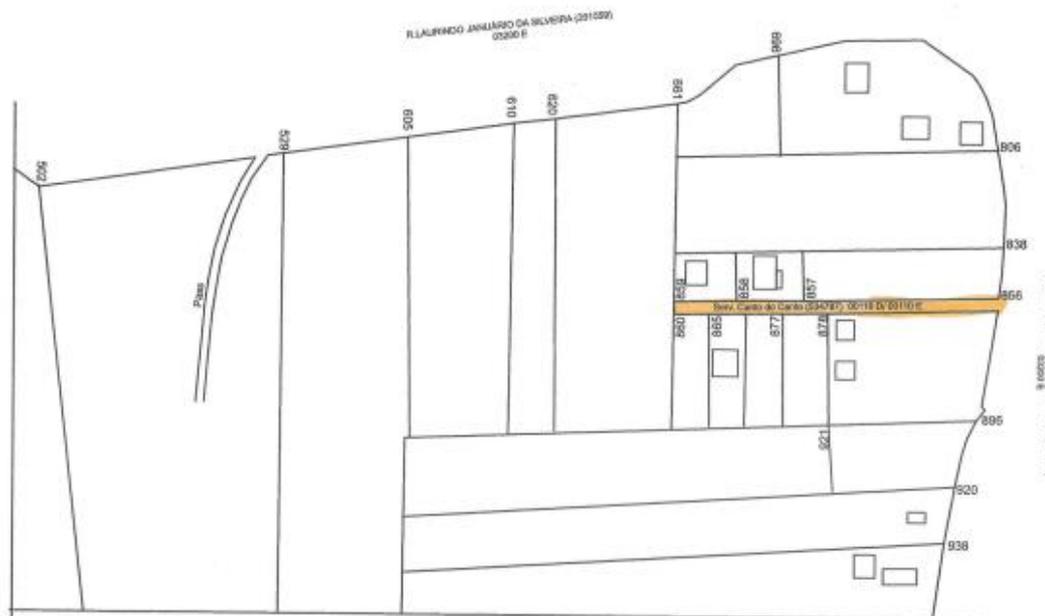
Fonte: Autor, 2024.

Dados da servidão

A servidão Canto do Canto, foi denominada via pública pela Lei Municipal de Florianópolis 7.982, de 07 de outubro de 2009. Com extensão de quarenta metros, a via pública de código de logradouro (534787) que parte da Rua Laurindo Januário da Silveira,

Canto da Lagoa, distrito da Lagoa da Conceição. O pedido de oficialização foi solicitado pelo Vereador Deglauer Goulart, após votação e aprovação, foi encaminhado pelo presidente da câmara municipal de vereadores de Florianópolis Gean Marques Loureiro, para a assinatura do prefeito em exercício Dário Elias Berger (PMF, 2009).

Figura 16 - Planta Esquemática sem escala que consta em anexo na Lei 7.982 /2009 de denominação da via.



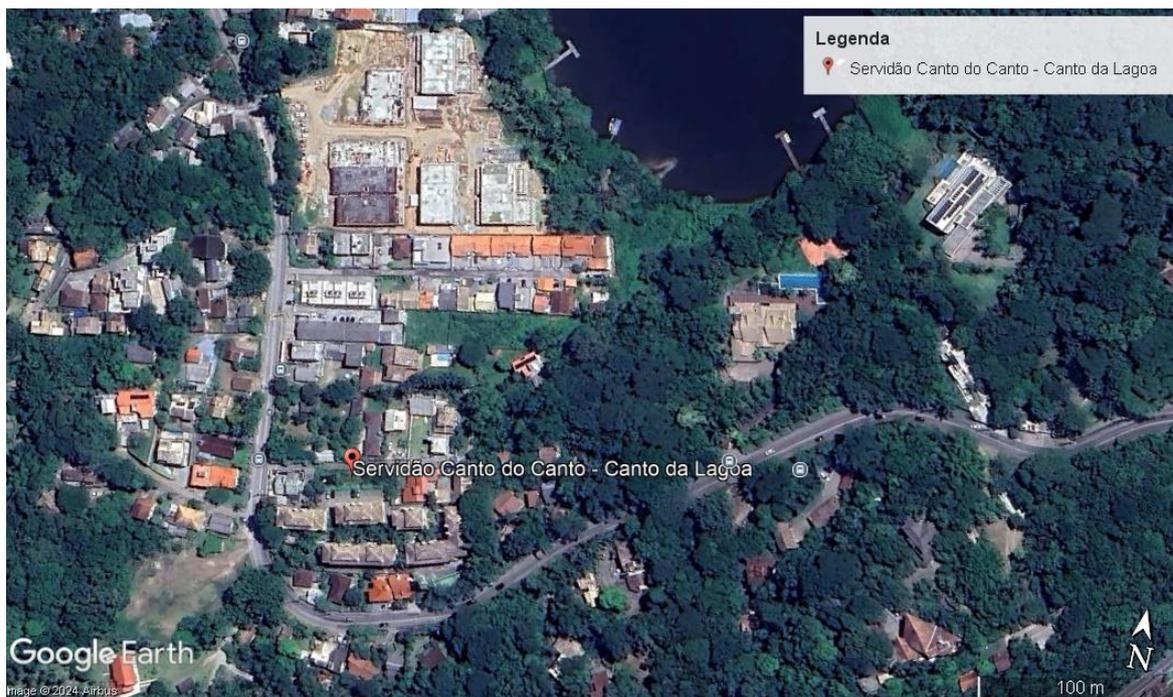
Fonte: PMF, 2009.

Dados Geotécnicos

A Prefeitura de Florianópolis contratou uma empresa para realização de ensaios de percolação em ruas da cidade. O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 13.969 (ABNT,1997) para estimar a capacidade ou taxa de percolação do solo (determinação do valor de K – coeficiente de permeabilidade), e posterior conversão deste valor e, taxa de aplicação superficial. A prefeitura usa os dados para dimensionamento de caixas de infiltração em algumas vias públicas do município. Esses dados foram cedidos pela Secretária Municipal de Transporte e Infraestrutura de Florianópolis para a realização deste trabalho.

O ensaio foi realizado na Servidão Canto do Canto, localizada no Canto da Lagoa, em Florianópolis/SC. A localização é mostrada na Figura 18, destaque em pino amarelo.

Figura 17 - Localização da Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição.



Fonte: Fonte: Adaptado de *Google Earth*® (2024).

Antes do início do ensaio de percolação pela empresa, foi realizada uma sondagem com o objetivo de classificar tátil-visualmente o solo presente no local do ensaio, além de verificar a existência de água no subsolo.

Conforme apresentado no boletim de sondagem (Figura 18), foi identificado o nível de água (NA) a uma cota de 1,40 m abaixo da superfície do terreno. Essa condição inviabiliza a execução de valas de infiltração, uma vez que essas estruturas devem ser posicionadas, no mínimo, 1,50 m acima do NA. Além disso, outro fator que limita as soluções, é a impossibilidade de elevação do greide da pista, pois as residências estão situadas no mesmo nível da via o que torna inviável a aplicação de técnicas convencionais de drenagem e pavimentação.

Figura 18 - Boletim de Sondagem.

TIPO DE SOND.	PROFUND. (m)		N.A. (m)	CLASSIFICAÇÃO EXPEDITA
	DE	A		
CAV	0,00	0,03		Condições Atmosféricas: Dia Seco (x); Dia Chuvoso (); Chuva Dia Anterior ()
CAV	0,03	0,85		brita (revestimento primário)
CAV	0,85	1,60	1,40	silte areno argiloso marrom com entulhos (aterro)
CAV/ST	1,60	1,80		silte argilo arenoso acinzentado
				areia média cinza clara

Legenda: CAV= cavadeira manual; ST= trado; N.A.= nível d'água

Fonte: PMF, 2024.

A Figura 20 mostra o registro fotográfico de um poço de sondagem aberto do local para coleta de amostras e identificação do tipo de solo. Na Figura 21, observa-se no furo de sondagem a presença de água, cujo N.A. está a 1,40 m da superfície.

Figura 19 – Poço de sondagem para identificação do solo.



Fonte: PMF, 2024

Figura 20 - Nível de água a 1,40 m da superfície do terreno.

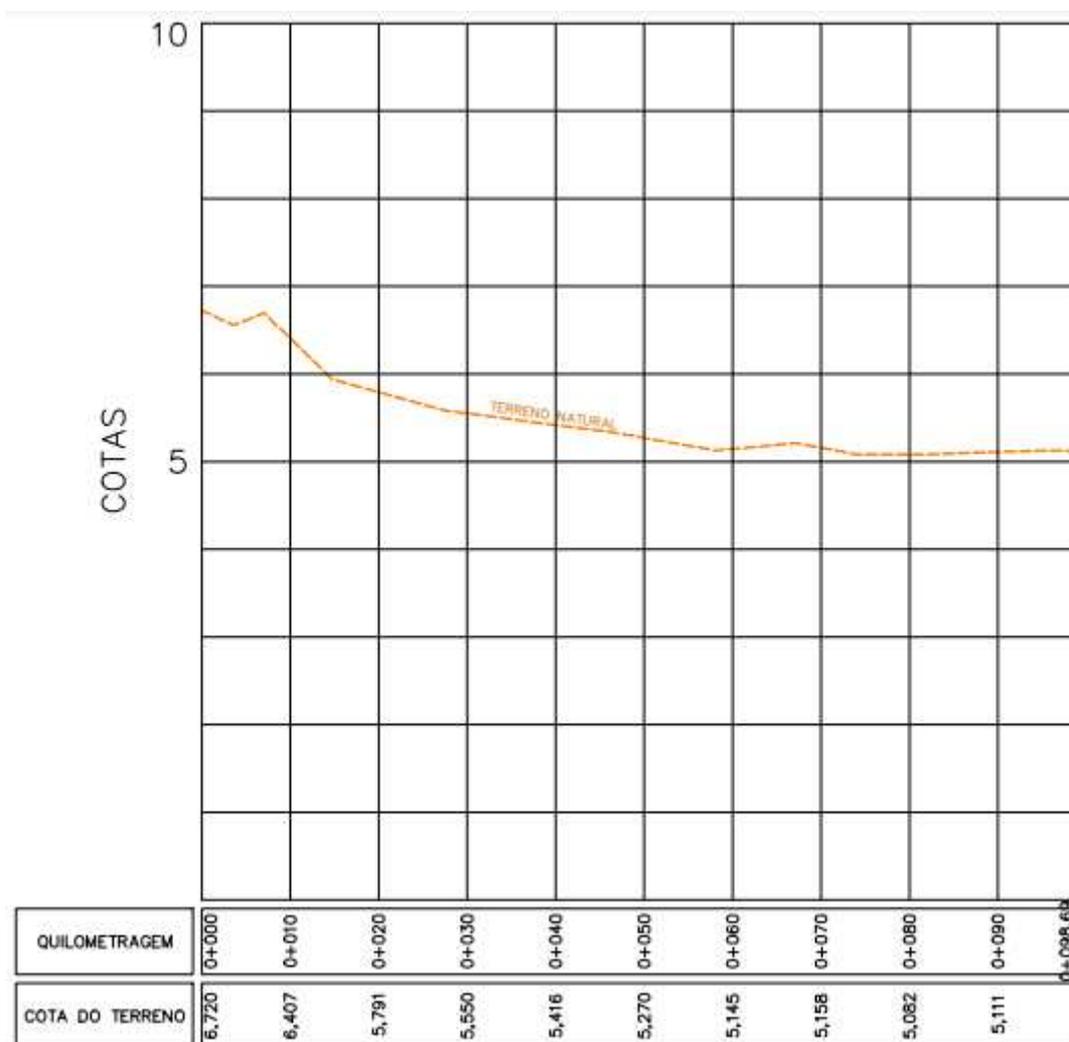


Fonte: PMF, 2024.

Dados topográficos

A análise do perfil altimétrico (Figura 22), por levantamento topográfico (Figura 23), da Servidão Canto do Canto se mostra fundamental para o correto planejamento e execução do pavimento permeável. As variações de cota são significativas, sendo, no quilômetro 0+000 (início da servidão) com cota de 6,720 metros e no quilômetro 0+080 (porção final da servidão), com cota de 5,082 metros e no fim da servidão, quilômetro 0+090, cota de 5,111 metros.

Figura 21 - Perfil da Servidão Canto do Canto.



Fonte: PMF, 2024

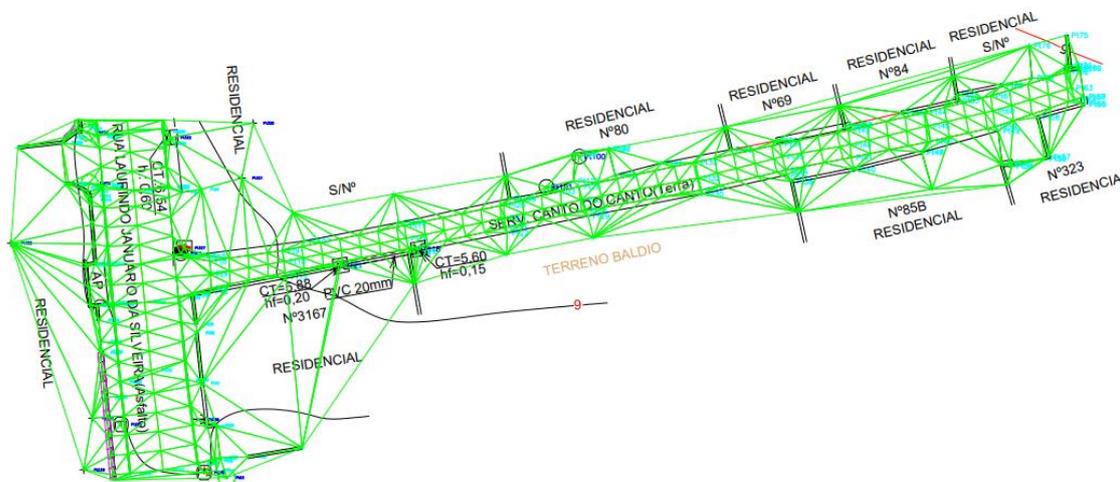
A variação de cotas (alturas) demonstra uma inclinação decrescente predominante, especialmente entre os quilômetros 0+010 (6,407 metros) e 0+060 (5,145 metros), onde a

diferença é mais acentuada. A inclinação natural do terreno pode favorecer o escoamento superficial da água, mas também requer um planejamento detalhado para garantir que o pavimento permeável funcione de maneira eficaz ao longo de toda a extensão da servidão. Um problema observado é que no fim da servidão (cota mais baixa) há uma residência e a tubulação de drenagem pluvial está posicionada em uma rua transversal ao início da servidão (cota mais elevada).

Para melhorar a eficiência do pavimento permeável, o perfil transversal deve ser projetado com um leve abaulamento, direcionando o escoamento para as laterais da via. Isso permitirá que a água pluvial seja absorvida de maneira uniforme pelo solo, diminuindo o risco de erosão e prolongando a vida útil do pavimento.

Considerando os pontos de menor cota, como entre os pontos 0+070 (5,158 metros) e 0+080 (5,082 metros), é recomendável a instalação de sistemas de drenagem complementar, como poços de infiltração ou valetas de drenagem. Esses sistemas auxiliarão na redistribuição do fluxo de água, evitando a sobrecarga do pavimento permeável e assegurando uma infiltração eficiente ao longo de toda a servidão.

Figura 22 - Levantamento topográfico (sem escala) da Servidão Canto do Canto.



Fonte: PMF, 2024.

Dados de tráfego

Conforme estabelecido pela IP – 02/2004 (PMSP, 2004), o tráfego leve é para ruas de características essencialmente residenciais, para as quais não é previsto o tráfego de ônibus, podendo existir ocasionalmente passagens de caminhões e ônibus em número não superior

a 20 por dia, por faixa de tráfego, caracterizado por um número "N" típico de 10^5 solicitações do eixo simples padrão (80kN) para o período de projeto de 10 anos.

O tráfego de veículos na Servidão Canto do Canto é caracterizado por sua baixa intensidade, em função das características da via e do seu uso predominantemente residencial. A servidão possui aproximadamente 100 metros de extensão e atende a sete residências, resultando em um volume de veículos restrito basicamente aos moradores e seus visitantes. Essa condição é típica de servidões de pequeno porte, onde o fluxo de tráfego externo é naturalmente limitado.

Estudos sobre tráfego em áreas residenciais indicam que vias com um número reduzido de residências tendem a apresentar um fluxo de veículos menor, sendo classificadas como "vias locais" ou de "tráfego leve" (DNER, 1999). Essas vias são destinadas exclusivamente ao acesso local, sem função significativa na circulação de trânsito mais intenso. Dessa forma, o impacto sobre o pavimento permeável que será implementado na Servidão Canto do Canto será mínimo, o que contribuirá para a durabilidade e a facilidade de manutenção do pavimento ao longo do tempo.

Dados Hidrológicos

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), abrangendo o histórico de precipitações mensais ao longo de um período de 10 anos, de janeiro de 2013 a dezembro de 2023. Verificou-se que, nos meses de abril e maio de 2015, bem como em novembro de 2019, houve uma possível falha no processo de coleta ou registro dos dados pluviométricos, resultando na ausência de informações referentes a esses períodos específicos.

3.3 Dimensionamento

Nesta seção serão detalhados os procedimentos de dimensionamento estrutural e hidráulico de um pavimento permeável. O dimensionamento estrutural inclui materiais escolhidos para composição das camadas e as cargas aplicadas, com o objetivo de garantir a resistência e durabilidade do pavimento. O dimensionamento hidráulico contempla a capacidade de infiltração e escoamento das águas pluviais, visando promover o controle de enchentes e aumentar a eficiência no manejo de águas urbanas, contribuindo para a sustentabilidade do projeto.

3.3.1 Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento estrutural foi realizado com base nas diretrizes estabelecidas pela norma IP – 06 (PMSP, 2004) da Prefeitura de São Paulo para pavimentos intertravados de blocos de concreto.

Para a camada de revestimento, optou-se por blocos intertravados permeáveis, sendo peças retangulares do Tipo I (*paver*), conforme preconizado pela norma NBR 9781 (ABNT, 2013). Nas contenções laterais e transversais, optou-se pelo uso de meios-fios de concreto, conforme a norma NBR 9781(ABNT,2013).

O pavimento intertravado de blocos de concreto tem sido amplamente empregado em áreas urbanas e industriais, especialmente em locais com tráfego leve. Este tipo de pavimento é formado por blocos pré-moldados de concreto que, ao serem assentados sobre uma camada de base e travados com areia ou argamassa, são capazes de distribuir as cargas de maneira eficiente. Entre suas principais vantagens estão a resistência, a facilidade de manutenção e sua maior permeabilidade ao solo, o que contribui para uma solução mais sustentável, principalmente em termos de drenagem urbana. O dimensionamento adequado desse tipo de pavimento requer uma análise criteriosa de fatores como o tráfego previsto, as características do solo e as condições climáticas da região, garantindo assim um desempenho satisfatório e duradouro (Escola de engenharia, 2024).

Tráfego

Sendo a Servidão Canto do Canto uma via de baixo volume de tráfego e conforme a IP – 02 (PMSP, 2004), o número N foi considerado 10^5 , eixo padrão de 80 kN e período de projeto de 10 anos.

A norma IP – 06 (PMSP, 2004) contempla, dois procedimentos para o dimensionamento de pavimentos com de blocos intertravados. Neste estudo, optou-se pelo procedimento “A”, por ser o mais adequado às condições de tráfego leve.

Capacidade de suporte do subleito

O parâmetro da capacidade de suporte do subleito necessário ao dimensionamento pela IP – 06 (PMSP, 2004) é o Índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR). Na literatura foi consultada a pesquisa realizada por Higashi (2006), no qual foram conduzidos ensaios geotécnicos em Florianópolis e propriedades dos solos em áreas costeiras do Brasil, considerando características geotécnicas. Na pesquisa, o autor agrupou unidades geotécnicas

de Florianópolis por meio da sobreposição de mapas geológicos e pedológicos e identificou os seguintes tipos de solos e respectivos ISCs.

- **Areia Quartzosa Podzolizada:** ISC de 6,0% e de expansão 0%;
- **Horizonte C de granito argilo-arenoso:** ISC de 7,0% e expansão de 0,2%;
- **Areia Quartzosa Rampa de dissipação:** ISC de 13% e expansão de 0%;
- **Podzol sedimentos quaternários:** ISC de 24% e expansão de 0%;
- **Podzólico Vermelho Amarelo de granito C:** ISC de 21,0% e expansão de 0,5%;
- **Podzólico Vermelho Amarelo de granito B:** ISC de 14% e expansão de 1%;
- **Podzólico Vermelho Amarelo de diabásio:** ISC de 11,24% e expansão de 1,6%;
- **Cambissolo depósito de encostas:** ISC de 20% e expansão de 1,3%.

Higashi (2006) complementou que os resultados indicaram variações significativas na resistência do solo em diferentes locais da cidade, cujos valores influenciam a escolha de materiais e métodos de compactação em obras de pavimentação e infraestrutura.

Conforme os resultados obtidos no boletim de sondagem e com base na altura projetada do subleito, foi possível estimar ISC da região, com base no estudo de Higashi (2006). Neste trabalho, foi considerado que o solo da região é do tipo Horizonte C de granito argilo-arenoso, cujo ISC é de 7%.

3.3.2 Dimensionamento Hidráulico

Em estruturas de pavimentos permeáveis é necessário estabelecer a espessura da camada de reservatório (*reservoir course*), cuja função é de armazenar temporariamente a água que se infiltra através das camadas drenantes do pavimento. A espessura da camada é calculada por meio de equações que levam em conta fatores como a intensidade e frequência das chuvas locais, tipo de material da camada e solo de fundação. A espessura da *reservoir course* foi calculada por meio da Equação 1. (Araújo; Tucci; Goldenfum, 2000; Ciria, 2015).

$$h = \frac{t(Ri-q)}{n} \quad (1)$$

Em que: h é a espessura da *reservoir course* (mm); t é a duração da chuva de projeto (h); R é a razão entre a área drenada (pavimento permeável e áreas impermeáveis que contribuem com o escoamento superficial) e a área do pavimento permeável; i é a intensidade da chuva de projeto correspondente ao período de retorno e duração escolhidos (mm/h); q é

a condutividade hidráulica do solo do subleito (mm/h); n é o volume de vazios da *reservoir course* (%).

A razão entre a área drenada e a área do pavimento permeável (R) foi igual a 1,0 devido ao pavimento cobrir toda a área da rua. O volume de vazios (n) adotado para a *reservoir course* foi o percentual indicado pela literatura, de 40%.

A intensidade da chuva de projeto (i) depende do período de retorno e da duração da precipitação (t) escolhidos. O período de retorno é um parâmetro fundamental para o dimensionamento de sistemas de drenagem e obras hidráulicas, pois está relacionado à probabilidade de ocorrência de eventos pluviométricos extremos. A seleção adequada desse período deve considerar os riscos à segurança da população e os potenciais danos materiais que podem resultar de eventos que excedam as condições previstas no projeto. Além disso, é necessário avaliar os custos envolvidos com o nível de segurança estabelecido no dimensionamento.

Para projetos de microdrenagem, geralmente é adotado um período de retorno entre 5 e 10 anos (ABCP, 2010).

Com o período de retorno definido, a intensidade e a duração da precipitação foram obtidas por meio da equação de chuvas intensas ou de intensidade-duração-frequência (IDF), proposta para Florianópolis por Back (2013), e desenvolvida a partir de dados pluviométricos coletados entre 1969 e 2009. As intensidades foram calculadas para diferentes durações de chuva, sendo selecionada a que resultou no maior volume de precipitação (altura total de água), conforme recomendado por CIRIA (2015). A equação IDF utilizada é apresentada na Equação 2.

$$i = \frac{1.168,46T^{0,237}}{(t+9,12)^{0,703}} \quad (2)$$

Em que: i é a intensidade da chuva (mm/h); T é o período de retorno (anos); t é a duração da chuva (min), sendo que para essa equação $5 \leq t \leq 120$ min.

A condutividade hidráulica do solo do subleito (q) é considerada nula, já que o pavimento proposto é do Tipo C, sem infiltração. Entretanto, deve-se levar em consideração a vazão de esvaziamento da camada com função de reservatório temporário, a *reservoir course*, que direciona a água para o reservatório principal.

Um método simplificado de dimensionamento, proposto por Baptista, Nascimento e Barraud (2011), assume que a estrutura de drenagem possui uma vazão de saída constante, a qual pode ser representada como vazão específica, conforme mostrado na Equação 3.

$$q_s = \frac{Q_s}{A_a} \quad (3)$$

Em que: q_s é a vazão de saída específica (m/h); Q_s é a vazão de saída constante (m³/h); A_a é a área de drenagem efetiva (m²).

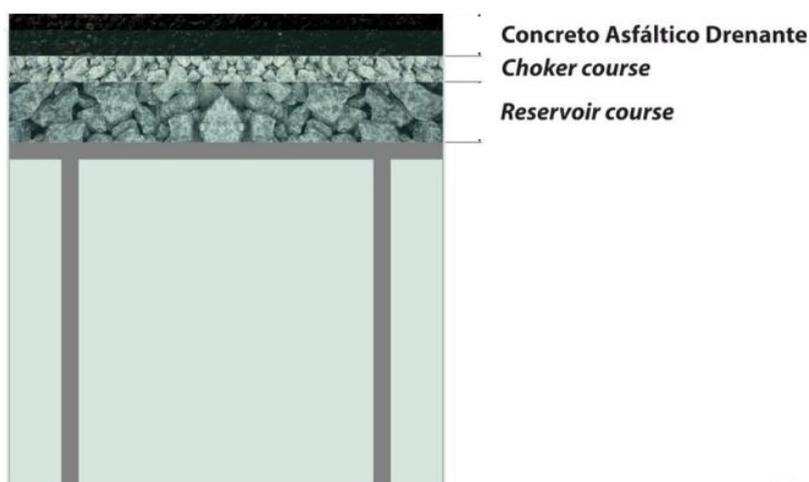
Definiu-se um período máximo de 24 horas para o esgotamento do volume de água armazenado na *reservoir course*, conforme estudos de Tomaz (2009). A vazão de saída constante (Q_s), necessária para o cálculo da vazão específica de saída (q_s), foi obtida dividindo-se o volume de água da chuva de projeto, incidente sobre a área drenada, pelo período de 24 horas. A área de drenagem efetiva (A_a) corresponde à superfície ocupada pelo pavimento permeável. No estudo, a área foi obtida pela multiplicação da largura e comprimento da servidão.

Após, determinou-se a espessura mínima da *reservoir course* necessária para acomodar a chuva de projeto. Além disso, foi essencial considerar a inclinação do fundo do pavimento, de modo a direcionar o escoamento da água para os drenos e, posteriormente, para o reservatório permanente.

Na Universidade Federal de Santa Catarina foram desenvolvidos modelos de pavimentos drenantes. Nos estudos, foram avaliados modelos com diversas camadas e tipos de revestimentos. Neste trabalho, foi escolhida a estrutura estudada por Hammes (2017), denominado de modelo B (Figura 24), por ser considerado de composição simplificada e maior praticidade de execução em espaços limitados. A estrutura de Hammes (2017) é composta por uma camada de revestimento em concreto asfáltico drenante, uma camada intermediária de "choker" e uma camada de armazenamento (*reservoir course*). Neste estudo a camada de revestimento é de bloco intertravado permeável de concreto de cimento Portland.

Para o modelo B (Figura 24) Hammes (2017) obteve excelente eficiência de infiltração, cuja taxa média foi de 80%. A elevada capacidade de infiltração possibilita a rápida infiltração da água precipitada e menor volume de água incidente na superfície é de escoamento. Como neste estudo a camada de revestimento do modelo B foi substituída por blocos intertravados permeáveis, e de modo a manter a capacidade drenante, verificou-se que Garcia (2022) mediu o coeficiente de permeabilidade e verificou ser similar ao concreto asfáltico drenante avaliado por Hammes (2017) e Garcia: (2022).

Figura 23 – Estrutura proposta pro Hammes (2017) - Modelo B.



Fonte: Hammes, 2017.

Dimensionamento do reservatório inferior

Entre as opções de métodos de dimensionamento hidráulico disponíveis, optou-se pelo uso do *software* Netuno 4 para estimar o volume do reservatório destinado ao armazenamento de água pluvial. O *software* Netuno 4 foi desenvolvido para simular a captação, armazenamento e distribuição de água pluvial, levando em conta variáveis como a área de captação, precipitação local e a demanda de consumo. Embora tenha sido desenvolvido para sistemas de captação de água de chuva a partir de telhados, o *software* pode ser usado para sistemas de coleta de água a partir de pavimentos permeáveis com adaptações. O *software* realiza cálculos automáticos que permitem ajustar o volume dos reservatórios de forma otimizada, maximizando a eficiência no uso dos recursos hídricos disponíveis (Ghisi & Cordova, 2014).

4 RESULTADOS

Este trabalho envolveu a análise das condições atuais via, incluindo a infraestrutura existente, o estudo das condições do solo e o levantamento dos principais pontos de alagamento. Foram realizadas entrevistas com moradores da região, para entender as percepções e expectativas da comunidade em relação à pavimentação da via.

Este capítulo apresenta os resultados obtidos no estudo que incluem as visitas técnicas, os dimensionamentos, o volume do reservatório e a proposta de implantação do pavimento permeável na Servidão Canto do Canto.

A partir dos resultados obtidos foram elaboradas propostas que contemplem tanto as necessidades técnicas quanto as demandas sociais, visando a melhoria da infraestrutura urbana de maneira sustentável.

4.1 Visitas técnicas ao local do estudo de caso

Foram realizadas visitas e realizadas entrevistas com os moradores na servidão Canto do Canto, para identificação dos problemas enfrentados pelos moradores associados principalmente às condições de acesso, uma vez que a via não é pavimentada.

A Servidão apresenta problemas comuns em áreas urbanas próximas a corpos d'água, como a Lagoa da Conceição. A impermeabilização do solo, associada ao aumento da urbanização, tem contribuído para o agravamento de problemas como alagamentos, que afetam tanto a infraestrutura quanto a qualidade de vida dos moradores. Durante eventos de chuva, foi verificado que ocorrem alagamentos em diversos pontos da servidão, como ilustrado na Figura 24.

As condições da servidão, após um único evento de chuva, são ilustradas nas Figuras 25, 26 e 27, nas quais observa-se o acúmulo de água ao longo da via. Atualmente a via tem uma camada de revestimento primário com material granular, o qual embora permita parte de infiltração de água de chuva, a capacidade drenante não é suficiente, resultando nas formações de poças de água quando há alta intensidade ou volume de chuva. Observou-se ainda que não há drenagem para coleta de água, contribuindo para os alagamentos em condições adversas de chuvas.

Figura 24 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição alagada.



Fonte: Moradora da Servidão, 2024.

Figura 25 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição início da via.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 26 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição meio da via.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 27 - Servidão Canto do Canto em dia de chuva, posição fim da via.



Fonte: Autor, 2024.

Outras visitas também foram realizadas em dias que não havia precipitação, conforme ilustram as Figuras 29, 30, 31 e 32.

Figura 28 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, início da servidão, posição início da via com interseção com a Rua Laurindo Januário Silveira (geral principal).



Fonte: Autor, 2024.

Figura 29 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição início da via.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 30 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição meio da via.



Fonte: Autor, 2024.

Figura 31 - Servidão Canto do Canto, Lagoa da Conceição, posição fim da via.



Fonte: Autor, 2024.

Avaliação do questionário

Após a aplicação dos questionários, os resultados foram compilados. Os nomes dos moradores não foram mostrados para preservar a privacidade. Conforme as respostas dos três moradores entrevistados, sendo que a servidão possui apenas sete residências esse número de entrevistas se torna representativo, a maioria reside na servidão há pelo menos três anos. Todos os entrevistados descreveram as condições atuais como são ruins, com presença de buracos e de vegetação em toda a extensão da servidão. Ainda, que nos dias de chuva, a situação é pior, com alagamentos, formação de poças d'água, e afirmaram ser devido à falta de pavimentação e de drenagem. Quanto aos veículos, os moradores relataram que os mesmos transitam normalmente, mas em dias de chuva com dificuldades e nos períodos de chuva intensa, especialmente no fim da servidão (cota mais baixa), a circulação não é possível. Durante as chuvas, a situação piora devido a alagamentos frequentes que dificultam o acesso dos moradores e comprometem serviços essenciais como coleta de lixo. A pavimentação, segundo os entrevistados, traria inúmeros benefícios, como melhorias na mobilidade, redução de alagamentos, valorização dos imóveis e maior conforto e segurança para todos.

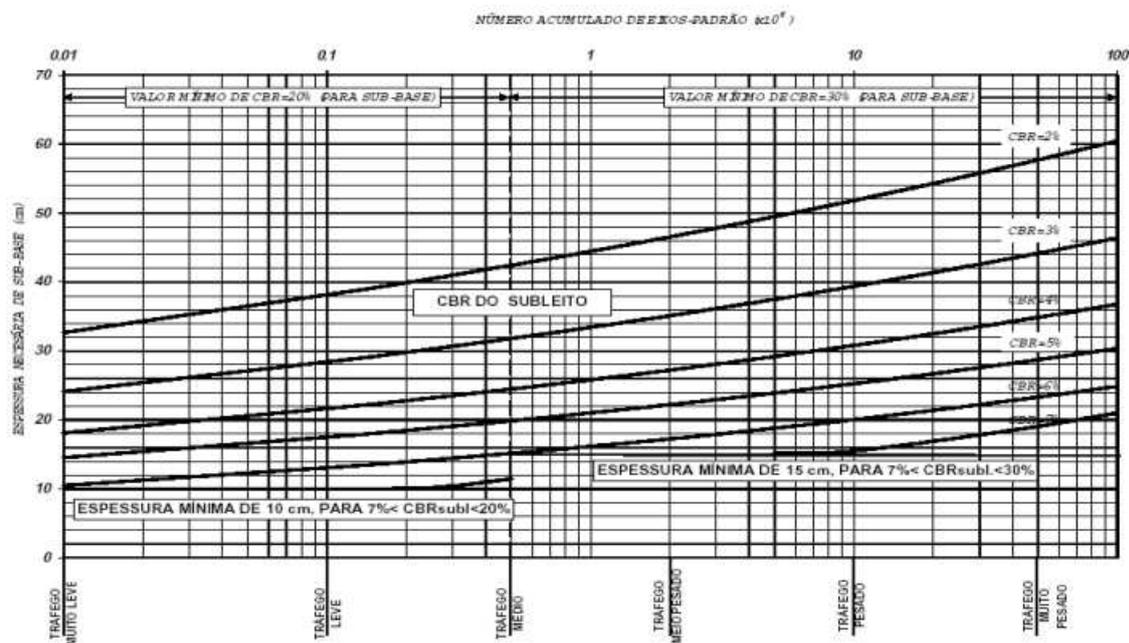
O número limitado de respostas obtidas durante a coleta de dados pode ser atribuído a dois fatores principais: o reduzido número de moradores presentes na servidão e a realização das entrevistas durante o horário comercial, período em que a maioria dos residentes não se encontrava em suas respectivas residências. Essas circunstâncias impactaram diretamente na representatividade da amostra, restringindo a quantidade de dados coletados.

Na análise das condições do Servidão Canto do Canto, constatou-se que o uso de pavimentos permeáveis pode representar uma solução viável para a gestão das águas pluviais locais, contribuindo para a drenagem urbana. Essa alternativa se torna especialmente relevante devido à limitação técnica imposta pelo fato de as residências situadas no mesmo nível da via, o que inviabiliza a aplicação de técnicas convencionais

4.2 Dimensionamento Estrutural

O dimensionamento estrutural foi realizado de acordo com a IP – 06/2004 (PMSP, 2004). No Procedimento A. Para o tráfego, expresso pelo número N de 1×10^5 , não se faz necessária a inclusão de uma camada de base cimentada. Para determinar a espessura da camada de sub-base foi usado o ábaco da Figura 33, e dois parâmetros de entrada, sendo, o número N (1×10^5) e o ISC (CBR) de 7%.

Figura 32 - Espessura necessária de sub-base



Fonte: PMSP, 2004

Com base no ábaco da Figura 33, foi possível determinar a espessura mínima da camada requerida de sub-base, igual a 10 cm, o exigido para o ISC, garantindo a resistência estrutural necessária para suportar as cargas de tráfego previstas.

Conforme os critérios de dimensionamento da PMSP, o número "N" para este projeto, foi inferior a 5×10^5 . Com base na IP – 06/2004 (PMSP, 2004), é exigida uma espessura de revestimento de 6 cm como demonstrado na Tabela 1, o que é suficiente para garantir a durabilidade e a resistência da superfície, assegurando a integridade do pavimento frente às cargas aplicadas e prolongando sua vida útil.

Tabela 1 - Definição das características do revestimento

Número N de solicitações (adimensional)	Espessura revestimento (cm)	Resistência à compressão simples (MPa)
Menor que 5×10^5	6,0	35
Entre 5×10^5 e 5×10^7	8,0	35 a 50
Maior que 5×10^7	10,0	50

Fonte: PMSP (2004)

Conforme dimensionamento estrutural, a estrutura do pavimento (Figura 34) requer uma espessura de 21 cm, sendo composta por três camadas principais: uma camada de revestimento de peças de concreto com 6 cm de espessura, uma camada de assentamento de 5 cm (não estrutural) e uma sub-base granular de 10 cm.

Figura 33 - Estrutura dimensionada do pavimento convencional com revestimento de blocos intertravados.



Fonte: Autor, 2024.

Por se tratar de um pavimento permeável, optou-se por um revestimento em *pavers*, ou seja, blocos intertravados de concreto Portland permeável. Esses possuem dimensões de 6 cm de altura, 10 cm de largura e 20 cm de comprimento, conforme a Figura 35.

Figura 34 - *Paver* permeável.



Fonte: Calimix, 2024.

4.3 Dimensionamento Hidráulico

Espessura da *reservoir course*

A espessura da *reservoir course*, foi dimensionada conforme especificado na seção 3.4, considerando um período de retorno de 10 anos. A Equação 2, para durações entre 5 e 60 minutos, foram obtidos os resultados que estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Resultados de duração, intensidade e altura de precipitação.

Duração (min)	Intensidade (mm/h)	Altura (mm)
5	313,53	26,13
10	253,35	42,23
15	215,18	53,80
30	153,16	76,58
45	121,92	91,44
60	102,65	102,65

Fonte: Elaboração própria (outubro, 2024)

Portanto, para a chuva de projeto escolhida, período de retorno de 10 anos (T) e duração de 60 minutos (t), corresponde a uma intensidade de 102,65 mm/h.

A obtenção da vazão de saída específica (q_s), através da Equação 3. Onde a área da faixa de rolamento da via foi igual a 300 m² e altura igual a 102,65 mm. Assim obtendo o volume de escoamento igual a 35,93m³. Com o escoamento do volume de água em um tempo de 24 horas, podemos obter Q_s (vazão de saída constante) igual a 1,50 m³/h. A vazão constante (Q_s) e a área de drenagem efetiva (A_a), aquela à qual é coberta pelo pavimento permeável, sendo 300 m², obteve-se a q_s (vazão de saída específica).

A espessura da *reservoir course* apresentada na Equação 1. Sendo t igual a 1 hora, R igual a 1,0 devido razão entre a área drenada e a área permeável serem iguais, a intensidade de chuva (i) igual a 102,65 mm/h, q_s igual a 4,28mm/h como mostrado anteriormente e, por fim, como consta na literatura, o volume de vazios adotado para a *reservoir course* foi de 40%.

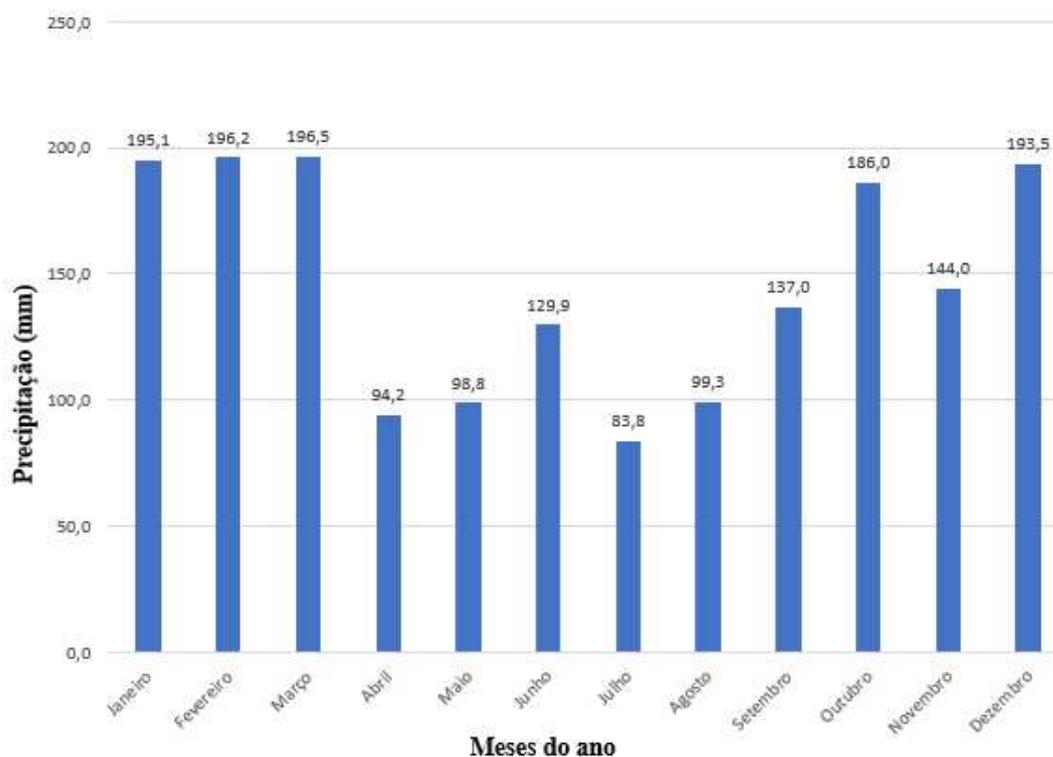
A aplicação da Equação 1 resultou em uma espessura de 286,9 mm, sendo adotada uma espessura 30 cm, o que representa a espessura mínima necessária da *reservoir course*, garantindo sua função de armazenamento temporário da água infiltrada durante o evento de chuva considerado no projeto.

Índices pluviométricos

Com base na análise dos dados da Estação Meteorológica de Florianópolis A806 localizada na área da Fazenda Ressacada, próximo ao Aeroporto Internacional Hercílio Luz, referentes ao período de 2013 a 2023, observa-se que a região mantém elevados níveis de precipitação durante todo o ano, com uma média anual de 1.720 mm de pluviosidade. No entanto, verifica-se que os meses entre abril e setembro apresentam os menores índices de

precipitação, enquanto entre outubro e março ocorrem os maiores volumes de chuva. A Figura 36 ilustra as médias mensais de precipitação registradas nesse intervalo de tempo.

Figura 35 - Médias mensais de precipitação de janeiro de 2013 a dezembro de 2023



Fonte: Autor, 2024.

Área de coleta da água pluvial

A área de coleta corresponde à superfície de pavimentação da via, sendo a região destinada ao tráfego de veículos. Essa área abrange toda a faixa de rolamento, com área de aproximadamente 300 m², obtida através do levantamento topográfico.

Dimensionamento do reservatório inferior

A precipitação diária utilizada no projeto foi obtida a partir de dados fornecidos pelo INMET, com início em 01/01/2013, abrangendo um período de 10 anos de coleta. Vale ressaltar que o escoamento inicial foi considerado como zero, uma vez que toda a água infiltrada no pavimento será direcionada ao reservatório, e a área de captação correspondeu à faixa de rolamento da via. A demanda diária de água foi estimada em 420 litros, volume capaz de atender à irrigação de 21 residências, o que representa três vezes o número atual de casas na rua. Este cálculo baseia-se na estimativa do CIDESP, que indica que a irrigação manual consome, em média, 20 litros de água por dia. O número de moradores foi a média

de moradores por residência em Florianópolis, conforme os dados mais recentes do IBGE, é de aproximadamente 2,84 pessoas por domicílio, que foi considerado 3 moradores por residência neste caso, sendo assim tendo um total de 63 moradores. O volume máximo estabelecido para o reservatório inferior foi de 30.000 litros, com intervalos de simulação de 3.000 litros. Assim, o *software* Netuno simulou volumes variando de 0 a 30.000 litros. A definição desse volume foi baseada na área disponível para instalação do reservatório e na altura ideal do projeto, garantindo que a capacidade de armazenamento atenda à demanda sem comprometer o espaço ou a eficiência do sistema de captação.

Figura 36 - Painel de dados de entrada do *software* Netuno 4.

Netuno 4

Simulação Ajuda Citação Validação Sobre

Carregar simulação previamente salva

Carregar dados de precipitação	dados_A806_D_20
Número de registros	4017
Data inicial (dd/MM/yyyy)	01/01/2013
Descarte escoamento inicial (mm)	0

Reservatório superior

Reservatório inferior

Simulação para reservatório com volume conhecido

Simulação para reservatórios com diversos volumes

Intervalo da simulação

Volume máximo (litros)

30000

Intervalo entre volumes (litros)

3000

Indicar volume ideal para o reservatório inferior

Diferença entre potenciais de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial (%/m²)

50

Simular

Salvar simulação atual

Limpar campos

Análise Econômica

Área de captação (m²)

300

Demanda total de água (litros per capita/dia)

420 Variável...

Número de moradores

63 Variável...

Percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial

100%

Coefficiente de escoamento superficial

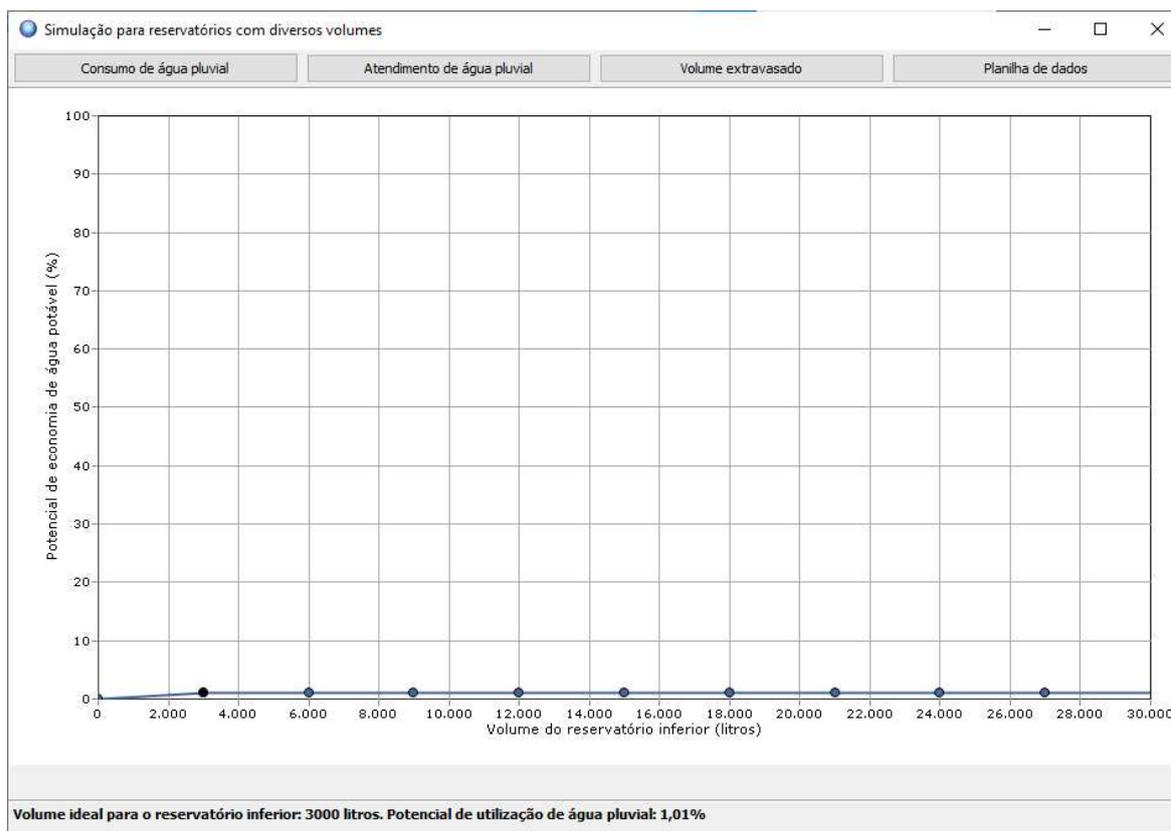
0,2 (20% de aproveitamento)

Observações

Fonte: Autor, 2024.

Após realizar as simulações utilizando o *software* Netuno, verificou-se que o volume ideal para o reservatório foi dimensionado em 3.000 litros. Este volume atende de forma eficiente à demanda de água projetada, levando em consideração as características de captação e consumo. Para acomodar este volume, o reservatório terá dimensões de 1 metro de comprimento por 3 metros de largura, com 1 metro de profundidade, proporcionando uma solução otimizada tanto em termos de espaço quanto de capacidade de armazenamento.

Figura 37 - Resultados obtidos no Netuno



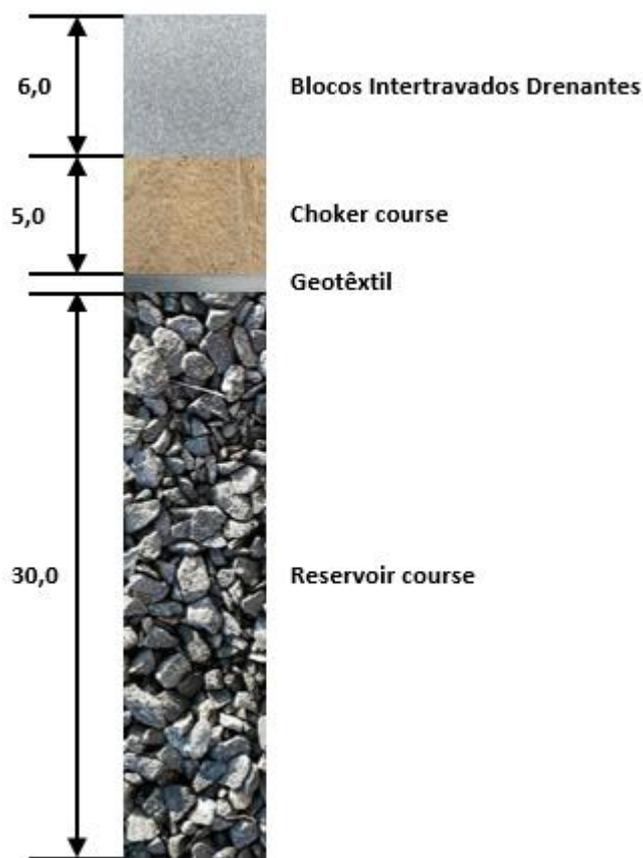
Fonte: Autor, 2024.

4.4 Estrutura final

A estrutura representada na Figura 39 refere-se a um pavimento permeável, desenvolvido com o objetivo de diminuir o escoamento superficial e auxiliar a drenagem da via. A camada de revestimento é constituída por *pavers* drenantes com 6 cm de espessura, em conformidade com a NBR 9781:2013, apresentando resistência mínima de 35 MPa. Estes elementos são assentados sobre a *choker course* de 5 cm, cuja função é nivelar e facilitar a percolação da água, apoiada sobre a *reservoir course* de 30 cm de espessura, que atua como reservatório temporário de retenção.

Entre a *choker course* e a *reservoir course*, é inserido um geotêxtil, cuja função é evitar a mistura de materiais de diferentes granulometrias, garantindo a eficiência estrutural das camadas. Além disso, sob o subleito compactado e regularizado, encontra-se uma membrana impermeável que impede a infiltração de água para camadas mais profundas. Este projeto foi dimensionado para assegurar a durabilidade e eficiência do sistema, promovendo uma solução sustentável para a drenagem em áreas urbanas.

Figura 38 - Estrutura dimensionada final de pavimento permeável.



Fonte: Autor, 2024.

A estrutura dimensionada é composta por revestimento de blocos intertravados, camada de areia, denominada de *choker course* e camada de armazenamento, *reservoir course*. A inclusão do geotêtil como separador de materiais de diferentes granulometrias assegura a integridade funcional das camadas. Esse conjunto de soluções técnicas resulta em um pavimento que não apenas atende às demandas estruturais, mas também contribui para práticas de desenvolvimento urbano sustentável, alinhando eficiência hidráulica e resistência estrutural.

4.5 Proposta de projeto conforme padrões da Prefeitura Municipal de Florianópolis

O projeto simplificado da estrutura do permeável proposto para a via inclui a planta baixa e a seção tipo. Este projeto foi elaborado de acordo com os procedimentos da prefeitura da cidade. Na planta baixa (Figura 40), o projeto ilustra a aplicação do pavimento permeável

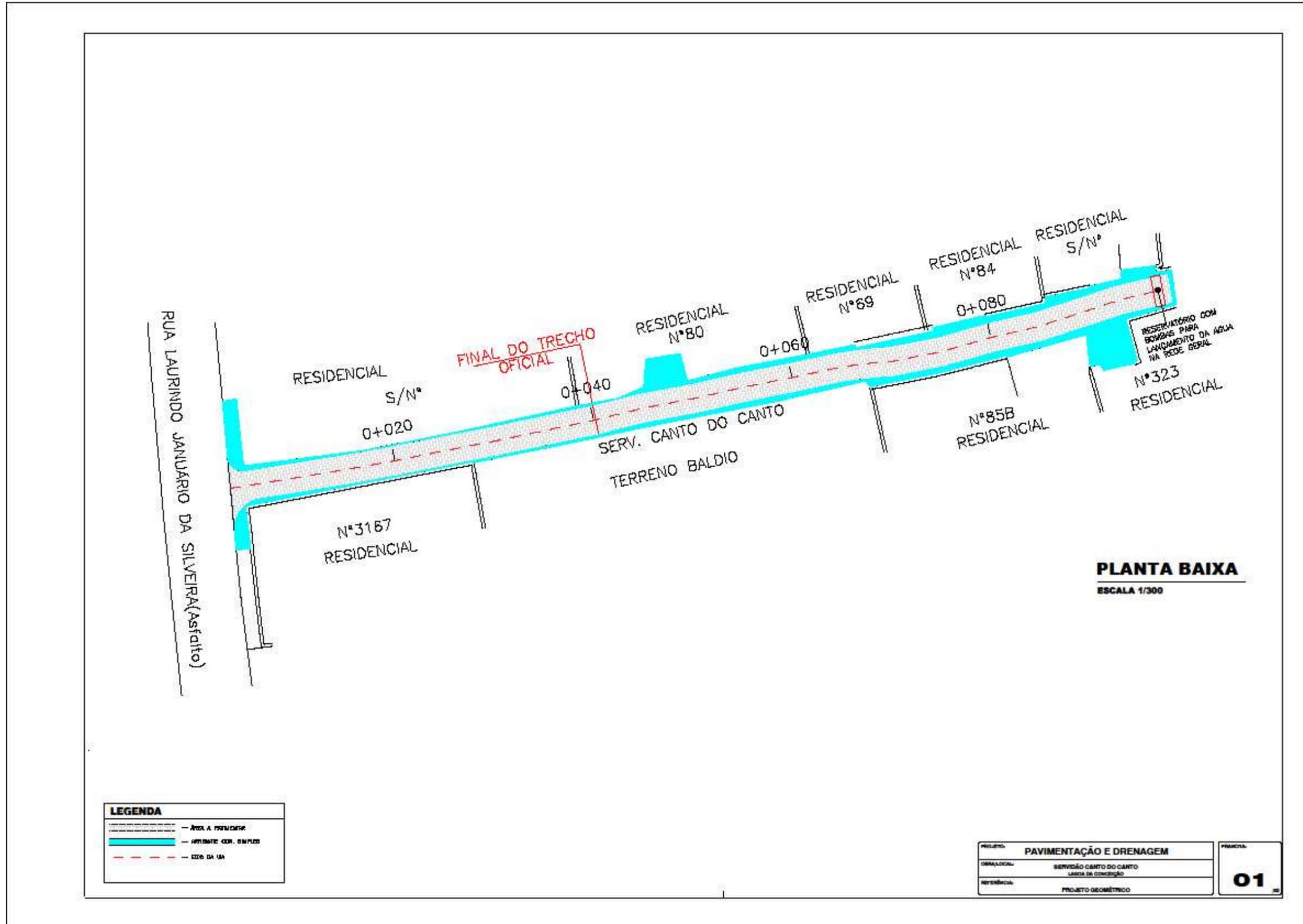
na faixa de rolamento da via. O dimensionamento do pavimento foi realizado para suportar precipitações de até 102,65 mm/h, de acordo com os dados pluviométricos locais, proporcionando uma significativa mitigação do escoamento superficial e minimizando os riscos de alagamento.

No estudo propõe-se que o reservatório seja do tipo moldado *in loco*, posicionado no final da servidão (Figura 40). Em conjunto, deve ser construída estrutura destinada a abrigar as moto-bombas responsáveis pelo bombeamento da água armazenada no reservatório e conduzida por tubulações até a via geral. Essas bombas têm a função de direcionar o volume captado para a rede de drenagem localizada na rua Laurindo Januário da Silveira. A referida rede de drenagem se encontra a uma profundidade aproximada de 50 centímetros em relação à superfície da rua Laurindo Januário da Silveira.

A seção tipo da via (Figura 41) contempla uma faixa de rolamento permeável associada a áreas laterais impermeáveis. A inclinação transversal da via foi projetada de forma a direcionar o escoamento de águas pluviais para as sarjetas, onde a água não infiltrada é direcionada até o reservatório onde será temporariamente armazenada, para posterior bombeamento e encaminhamento à rede de drenagem da rua Laurindo Januário da Silveira.

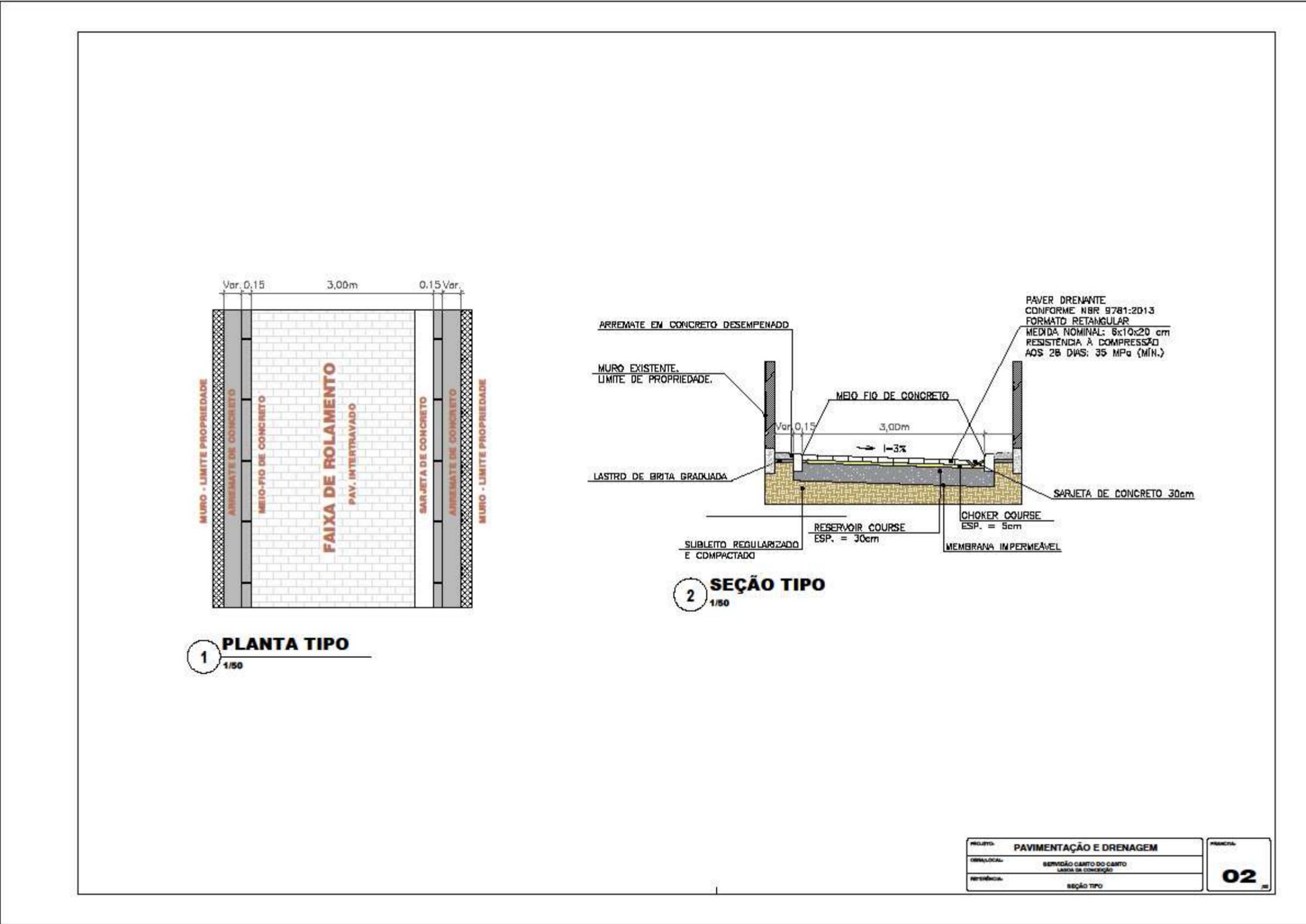
O meio-fio e a sarjeta serão implantados nos bordos laterais da via (Figura 41) junto ao pavimento, em toda sua extensão. Os meios-fios deverão ser assentados em ambos os bordos. Nas entradas de veículos (garagens) existentes, deverão ser executados rebaixos, de forma a permitir o acesso de veículos. A sarjeta será executada no bordo direito da via. Esses elementos têm como principal função garantir o direcionamento eficiente das águas pluviais para o reservatório.

Figura 39 - Planta baixa da servidão



Fonte: Autor, 2024.

Figura 40 - Planta tipo e seção tipo



Fonte: Autor, 2024.

5 CONCLUSÃO

O presente trabalho analisou o uso de pavimentos permeáveis como alternativa para mitigação de problemas de drenagem urbana, no qual foi realizado um estudo de caso na Servidão Canto do Canto, em Florianópolis. A crescente impermeabilização das áreas urbanas, em conjunto com os elevados índices pluviométricos da região, intensifica a sobrecarga dos sistemas de drenagem e aumenta a ocorrência de alagamentos. Neste contexto, os pavimentos permeáveis surgem como uma alternativa, pois permitem a infiltração da água pluvial, reduzindo significativamente o escoamento superficial.

O dimensionamento estrutural e hidráulico realizado evidenciou que o pavimento permeável proposto atenderia às demandas de infiltração e suporte de carga para o nível de tráfego do serviço. Foram utilizadas metodologias e diretrizes da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e normas internacionais para o dimensionamento das camadas drenantes e estrutura de pavimento. O modelo apresentado apresenta uma estrutura composta por revestimento permeável, camada de nivelamento, e camada de reserva, que permite armazenar volumes expressivos de água durante eventos de ocorrência intensa. Essa estrutura foi mostrada capaz de suportar eventos de chuva de projeto.

As análises de solo e topografia do local, aprimorados nos ensaios de percolação e sondagem, indicaram limitações pontuais no subleito para a infiltração plena, indicando a adoção de um sistema de pavimento sem infiltração, em que a água é armazenada temporariamente em um reservatório, e logo em seguida é direcionada a um sistema de drenagem através de bombas. Essa configuração se adapta às condições locais, mitigando a ocorrência de alagamentos, e contribuindo para a diminuição da carga nos sistemas de drenagem existentes.

Uma avaliação do desempenho hidrológico do pavimento permeável, com base em simulações de eventos críticos de chuva, demonstrou que o sistema é capaz de reduzir as taxas de escoamento superficial e de promover a dissipação gradual das águas pluviais, limitando os picos de vazão que representam para inundações. A manutenção periódica é essencial para a manutenção da permeabilidade ao longo do tempo, sendo recomendada a remoção de sedimentos e a limpeza superficial para evitar colmatação.

Portanto, conclui-se que o uso de pavimentos permeáveis em Florianópolis representa uma solução eficaz e técnica viável para a gestão das águas pluviais para vias similares a do estudo de caso, atendendo aos critérios de sustentabilidade e eficiência hidrológica. A adoção dessa tecnologia em áreas urbanas com características semelhantes a Servidão Canto do Canto, pode representar um avanço significativo na mitigação dos problemas de

drenagem urbana, além de integrar práticas de infraestrutura verde no desenvolvimento das cidades, com benefícios à infraestrutura e ao meio ambiente.

5.1 Limitações

O trabalho apresenta as seguintes limitações:

- Não foi realizada avaliação da capacidade de suporte do subleito e assumiu-se os dados obtidos no boletim de sondagem cedidos pela prefeitura e avaliação e ISC do estudo de Higashi (2006);
- Não foi elaborado um projeto hidráulico das tubulações e da capacidade das motobombas;
- Não foi desenvolvida uma análise financeira para avaliar a viabilidade econômica das soluções propostas, o que limita o estudo a aspectos técnicos e conceituais;
- O impacto da colmatação ao longo do tempo nos sistemas projetados não foi considerado, o que pode influenciar os resultados em condições de uso prolongado.

5.2 Sugestões para trabalhos futuros

Com o objetivo de dar continuidade e complementar o tema abordado neste trabalho, sugere-se:

- Análise comparativa financeira com o sistema convencional de drenagem;
- Estudo de Longo prazo sobre a durabilidade e Manutenção dos Pavimentos Permeáveis;
- Efeitos de colmatação em pavimentos permeáveis;
- Efeitos dos Pavimentos Permeáveis no Controle de Temperatura Urbana;
- Aplicação de Pavimentos Permeáveis em Rodovias de Alto Tráfego;
- Realização de um trecho experimental na servidão e aplicação do sistema proposto;

REFERÊNCIAS

- ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). Melhores Práticas: Pavimentos Permeáveis. **Sistemas Construtivos**, 2010.
- ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). **Projeto Técnico: Pavimento permeável. Programa Soluções para Cidades**, 2013.
- ABCP (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CIMENTO PORTLAND). **Soluções para cidades. Atacarejo inova com estacionamento permeável em concreto em Bagé**. Disponível em: <https://www.solucoesparacidades.com.br/blog/atacarejo-inova-com-estacionamento-permeavel-em-concreto-em-bage/>. Acesso em: 31 out. 2024.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 15953:2011. **Pavimento intertravado com peças de concreto - Execução**, 2011.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 16416:2015. **Pavimentos permeáveis de concreto - Requisitos e procedimentos**, 2015.
- ABNT (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS). NBR 9781:2013. **Peças de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2013.
- ABREU, Rafael Silva Andrade de. MIRANDA, Thiago Variz. **O uso do pavimento permeável como medida auxiliar na drenagem das cidades**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 04, Vol. 03, 2020.
- ADAMS, M. C. et al. Porous Bituminous Pavement: A Stormwater Best Management Practice. In: **Bridging the Gap: Meeting the World's Water and Environmental Resources Challenges**. p. 1-10, 2001.
- ALAM, Taufiqul; MAHMOUD, Ahmed; JONES, Kim D.; BEZARES-CRUZ, Juan César; GUERRERO, Javier. **A comparison of three types of permeable pavements for urban runoff mitigation in the semi-arid South**. Texas, U.S.A. Water, v. 11, n. 10, p. 1992, 2019.
- ALVES, Maikon Passos Amilton. SILVEIRA, Rafael Brito. **Análise espacial das chuvas em Florianópolis - sc: o caso de janeiro de 2018**. Revista Científica ABClimate, 2018.
- Amorim, M. C. C. T. **Ilhas de calor superficiais: frequência da intensidade e variabilidade espacial em cidade de clima tropical continental**. GEO UERJ, v. 1, p. 1-18, 2019.
- ARAÚJO, P. R., TUCCI, C. E. M., GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução do escoamento superficial**. RBRH – Revista Brasileira dos Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2000.

ASCE (AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS). **Permeable Pavements: Recommended Design Guidelines**, 2013.

ASSOCIATION). **The SUDS manual**. London, 2015.

BACK, Á. J. **Chuvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina**. Epagri, Florianópolis, 2013.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 ed. 318p. Porto Alegre: ABRH, 2011.

Barros, Enicléia Nunes de Sousa. Boaventura, Saymon Martin. **Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas**. REEC–Revista Eletrônica de Engenharia Civil Vol. 15 - nº2(2019-2020)

BECKER, P. **Obtenção de informações para plano diretor de drenagem urbana utilizando o SIG**. 115 f. Dissertação (Mestrado) – a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis. 2006.

Bernucci, L. B. et al. **Pavimentação Asfáltica: Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro, Brasil: PETROBRÁS Asfaltos e ABEDA (Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Asfaltos), 2022.

Bezerra, A. M.; Queiroz Neto, M. L.; Florêncio, F. D. C.; Oliveira, a. S.; Souza Junior, P. L. **Drenagem urbana de água pluviais: cenário atual do sistema da cidade de Assú/RN**. In: congresso brasileiro de gestão ambiental campina grande/pb, 7. Anais. 2016.

BIGARELLA, J.J. & SUGUIO, K. (1990) **Ambientes Fluviais**. Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, Florianópolis, 2.ed.

BOOTH, D.B. (1991) **Urbanization and the natural drainage system –impacts, solutions, and prognoses**. The Northwest Environmental Journal, n.7, p.93-118.

BOTELHO, R.G.M & SILVA, A.S. (2010) **Bacia Hidrográfica e Qualidade Ambiental**. In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A.C. (orgs). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed.

BRASIL. **Lei Nº 11.445, DE 5 DE JANEIRO DE 2007**. Diário Oficial da União, Brasília, DF. 2007.

BRAZ, L. A. **Solução de projeto de pavimentação para terminal universitário de ônibus em Joinville – SC**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, SC. 93 p., 2016.

CAMPOS, Edson Telê. **A expansão urbana na região metropolitana de Florianópolis e a dinâmica da indústria da construção civil**. 2009. Tese (Doutorado em Geografia) –

Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Florianópolis, 2009.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Ciclo Hidrológico**. Rio de Janeiro/RJ: [s.n.], 2006. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/HIDRO-Cap2-CH.pdf>>. Acesso em: 24 out. 2018.

CEPED - Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil. **Atlas brasileiro de concreto para pavimentação - Especificação e métodos de ensaio**, Rio de Janeiro, 2013.

CIDESP. **Tabela de consumo de água por pessoa**. Disponível em: <https://cidesp.com.br/artigo/tabela-de-consumo-de-gua-por-pessoa>. Acesso em: 20 out. 2024.

CIRIA (CONSTRUCTION INDUSTRY RESEARCH AND INFORMATION ASSOCIATION). **The SUDS manual**. London, 2015. COELHO NETTO, A.L. (1995) Hidrologia de Encosta na Interface com a Geomorfologia. In: CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (orgs). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2.ed.

CONNECTICUT. **Department of Energy and Environmental Protection. What is Low Impact Development?** Disponível em: https://portal.ct.gov/-/media/deep/water/watershed_management/wm_plans/lid/whatislowimpactdevelopmentpdf.pdf. Acesso em: 23 set. 2024.

CROOKES, A. (2015). **Performance of hydromedia pervious concrete pavement subjected to urban traffic loads in Ontario**. Tese de Doutorado. DOI: <http://hdl.handle.net/1807/69609>.

CUNHA, S.B. & GUERRA, A.J.T. (2009) **Degradação Ambiental**. In: CUNHA. S.B. & GUERRA A.J.T. (orgs). **Geomorfologia e Meio Ambiente**. Editora Bertrand Brasil, Rio do janeiro, 7.ed.

D'AGOSTIN, Francini Giassi. **Dimensionamento de pavimento flexível e análise entre os custos de projeto de revitalização e análise comparativa entre os custos do projeto de revitalização e uma proposta de reconstrução da SC-446 – Rodovia Governador Jorge Lacerda**. Monografia (Graduação). Universidade Do Extremo Sul Catarinense – UNESC. Criciúma, SC: 2010.

DE LUCCA, Tácito Almeida. **Avaliação da gestão da drenagem urbana na bacia hidrográfica do rio Belém em Curitiba**. Universidade Federal de Santa Catarina –Centro Tecnológico –Florianópolis, 2013.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). **Manual de Drenagem de Rodovias** – 2-ed. – Publicação IPR-724. Ministério dos Transportes. Instituto de Desenvolvimento Urbano. Manual de drenagem e manejo de águas pluviais. 2006.

Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte (DNIT). **Manual de desastres naturais 1991 a 2010: volume Brasil**. Florianópolis: CEPED, UFSC, 2012.

DNIT (DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES). **Manual de Pavimentação. Publicação IPR – 719**. Ministério dos Transportes. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2006.

DREMAP, UFSC (LAUTEC)/PMF. FINOTTI, A. R.; POMPEO, C. A.; UDA, P. K. PEREIRA, J.H.S.Q, PASSOS, E.B.; LOCKS, M.P.R.FURTADO, M. I. BOCK, A.F. (Organizadores) **Diagnóstico participativo da drenagem urbana de Florianópolis**, 2019. DUBREUIL, V.; AMORIM, M. C. C. T.; FROISSARD, J.; QUENOL, H. **Ilhas de calor urbano em cidades de pequeno e médio porte no Brasil e o contexto das mudanças climáticas**. GEOUSP Espaço e Tempo, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 150-168, maio 2016.

EGLER, C.A.G. (2001) **Mudanças Recentes no Uso e Cobertura da Terra no Brasil**. In: Dimensões Humanas de Mudanças Ambientais Globais: perspectivas brasileiras. Anais. UNICAMP: Campinas.

ESCOLA DE ENGENHARIA. **Piso Intertravado: o que é, principais tipos, vantagens e desvantagens**. Disponível em: <https://www.escolaengenharia.com.br/piso-intertravado/>. Acesso em: 16 nov. 2024.

Farias, K. S.. **Análise quantitativa de macrodrenagem urbana: avaliação da capacidade de escoamento de um canal no município de Delmiro Gouveia/AL**. Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Alagoas, Delmiro Gouveia, 2017.

FERGUNSON B. K., **Porous Pavements – Integrative Studies in Water Management and Land Development**, Taylor & Francis Group CRC Press (2005)

FERGUSON, B. K. **Porous Pavements**: CRC Press, Boca Raton, FL., 2005.

FERREIRA, M. J.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. **Anthropogenic heat in the city of São Paulo, Brazil**. Theoretical and Applied Climatology, v. 101, p. 9-19, 2010.

FERREIRA, S.C. (2009). **Políticas Públicas, Urbanização e Interações Socioespaciais no Brasil**. Encontro de Geógrafos da América Latina. Anais. Disponível em: <http://egal2009.easyplanners.info/area05/5210_Ferreira_sandra_Cristina.pdf>.

FHWA (FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION). Porous Asphalt Pavements with Stone Reservoirs. **FHWA Technical Brief**. (Pub. No. FHWA-HIF-15-009), 2015.

FINOTTI, Alexandra R.; UDA, Patrícia; CAPRARIO, Jakcemara; WU, Fernando; BERNARDO, Jéssica. **Diagnóstico participativo da drenagem urbana de Florianópolis**

– **Mapa de problemas de drenagem.** Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2021.

FISRWG. Stream Corridor Restoration: **Principles, Processes, and Practices.** Federal Interagency Stream Restoration Working Group, 15 agências federais do governo dos Estados Unidos, outubro de 1998.

FLORIPAMANHÃ. **Imagens de satélite mostram evolução da ocupação urbana em Florianópolis.**2021. Disponível em: <https://floripamanha.org>. Acesso em: 30 set. 2024.

FloripAmanhã. **Relatório Anual dos Indicadores de Florianópolis.** Associação FloripAmanhã; Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC); Observatório Social do Brasil - Florianópolis, 2022. Disponível em: https://convibra.org/congresso/res/uploads/pdf/artigo22387_20201653.pdf.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.** Brasil, 2016.

GAL, J. C. **Evolution de La Perméabilité dès Enrobés Drainants.** Revue Générale dès Routes et Aerodromes, n.702. p. 118-119. 2013.

GARCIA, Emmanuelle Stefânia Holdefer. **Avaliação da Progressão da Colmatação de Peças Pré-Moldadas de Concreto Permeável por Meio de Tomografia Computadorizada.** 2022. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4. Programa computacional.** Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>. 2014.

Ghisi, Enedir. Vaz, Igor Catão Martins., Antunes, Lucas Niehuns., Thives Liseane Padilha. **Permeable Pavements as a Means to Save Water in Buildings: State of the Art in Brazil.** Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, 2021. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2413-4155/3/4/36> .

GHISI, Enedir; CORDOVA, Marcelo Marcel. **Netuno 4: Manual do usuário.** Florianópolis: UFSC, LabEEE, 2014.

GUERRA, A.J.T. & MENDONÇA, J.K.S. (2010) **Erosão dos Solos e a Questão Ambiental.** In: GUERRA, A.J.T. e VITTE, A.C. (orgs). Reflexões Sobre a Geografia Física no Brasil. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 3.ed.

HAMMES, G.; THIVES, L.P.; GHISI, E. **Application of stormwater collected from porous asphalt pavements for non-potable uses in buildings.** Journal of Environmental Management. 2018 Sep 15; p. 338-347. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.05.094>, 2018.

HAMMES, Gabriela. **Aproveitamento de água pluvial captada a partir de pavimentos permeáveis para uso não potável**. Trabalho de conclusão de curso, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2017.

HAMMES, Gabriela. **Estudo do desempenho mecânico de uma mistura asfáltica drenante produzida com ligante altamente modificado**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

HANSEN, K. Porous asphalt pavements for stormwater management. **National Asphalt Pavement Association (NAPA)**, Lanham, 2008.

HERRMANN, M.L.P. Introdução. In: **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina: período de 1980 a 2010**. HERRMANN, M.L.P. (org.), 2. ed. atual. e rev. - Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014.

HIGASHI, R. A. R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de sig com base no comportamento geotécnico e ambiental**, 256p. 2006.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Censo Demográfico de 2022**. Disponível em: [https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/22827-censo-demografico-2022.html]

IBGE. **Panorama de Florianópolis - SC**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sc/florianopolis/panorama>. Acesso em: 20 out. 2024.

JONES, P.; MACDONALD, N. **Making space for unruly water: Sustainable drainage systems and the disciplining of surface runoff**. Geoforum, n. 38. p. 534-544, 2007.

LI, Haifeng; SHAO, Wen; ZHONG, Rui; ZHUANG, Wei; CHEN, Sheng. **Permeable Pavements in Cold Climates: State of the Art and Cold Climate Case Studies**. *Water*, v. 10, n. 2, p. 172, 2018. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/2/172>.

LIMA, W.P. (2008) **Hidrologia Florestal Aplicada ao Manejo de Bacias Hidrográficas**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2. Ed.

LOPES, L.R. et al (2007) **Interceptação e Ciclagem de Nutrientes em Floresta de Encosta na Amazônia Central**. I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro Oeste. Anais. Disponível em http://www.abrh.org.br/novo/i_simp_rec_hidric_norte_centro_oeste30.pdf.

MARCELINO, E.V.; GOERL, R.F.; PARIZOTO, D.G.V.; OLIVEIRA, C.A.F.; MURARA, P.G. **Inundação brusca**. In: **Atlas de Desastres Naturais do Estado de Santa Catarina**:

período de 1980 a 2010. HERRMANN, M.L.P. (org.), 2. ed. atual. e rev. Florianópolis: IHGSC/Cadernos Geográficos, 2014.

Marchioni, Mariana; SILVA, Cláudio Oliveira. **Conceitos e Requisitos para Pavimentos de Concreto Permeável.**2013.

Mariele de Souza Parra Agostinho; Cristiano Poletto. **SISTEMAS SUSTENTÁVEIS DE DRENAGEM URBANA: DISPOSITIVOS.** HOLOS Environment, v.12n.2, 2012.

Marques, V. P. **Estudo de medidas estruturais em planos diretores de drenagem urbana.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

Medau, I. **Análise dos dispositivos de drenagem urbana na Avenida São Francisco, Anápolis/GO.** Monografia (Bacharelado em Engenharia Civil) – Centro Universitário de Anápolis, Anápolis, 2018.

MELLER, A. **Simulação hidrodinâmica integrada de sistema de drenagem de Santa Maria – RS.** 2004. 152 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Universidade Federal de Santa Maria – UFMS, Santa Maria, 2004.

Mendes, Matheus Vianna. Amarante, Mayara dos Santos. **Pavimentos permeáveis: a busca por otimização do escoamento superficial e manejo dos efluentes pluviais.** Centro Universitário Braz Cubas, 2021. Disponível em: <https://revistas.brazcubas.br/index.php/pesquisa/article/view/922/986>

MENEZES, Gabriella de Ornelas; GONÇALVES, Artur; RIBEIRO, A. C.; FELICIANO, Manuel; BINELI, Aulus Roberto. **Análise do efeito de ilha de calor urbano na cidade de Bragança.** In: III Congresso Ibero-Americano de Empreendedorismo, Energia, Ambiente e Tecnologia, Bragança, 2017.

METEOREADO. **Florianópolis amanhece embaixo d'água após registro de chuva histórica.** Disponível em: <https://www.tempo.com>. Acesso em: 27 out. 2024.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Ciclo hidrológico.** Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/despesas/item/420-ciclo-hidrol%C3%B3gico.html>. Acesso em: 18 set. 2024.

MOTA, E. L.; SILVA, G. M.; SILVEIRA, A. L. **Estudo da redução do escoamento superficial direto em superfícies permeáveis.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 18, n. 2, p. 237-247, 2013.

MOURA, Priscilla Macedo. **Contribuição para a avaliação global de sistemas de drenagem urbana.** Dissertação (Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.
REZENDE, Rafaela de Freitas. **Dimensionamento do sistema de drenagem tradicional e**

sistema com utilização de micro reservatório: estudo de caso no município de Itabirito – MG. Centro Federal de educação tecnológica de Minas Gerais – CEFET – MG, Belo Horizonte, 2018.

TEIXEIRA, Suzane Naiara. **Sistemas de Drenagem Urbana: Estudo de Caso para a Macrodrenagem do Município de Arcos – MG.** UNIFOR: Formiga, 2014.

MULLANEY, J., e LUCKE, T. (2014). **Practical review of pervious pavement designs.** CLEAN–Soil, Air, Water, 42(2), 111-124. DOI: 10.1002/clen.201300118

Muttuvelu, Dansani Vasanthan; WYKE, Simon; VOLLERTSEN, Jes. **Are Permeable Pavements a Sustainable Solution? A Qualitative Study of the Usage of Permeable Pavements.** Sustainability, v. 14, n. 19, p. 12432, 2022.

Nascimento, v. H. A.; Stoll, w. J.; Martiliano, a. J.; santos, g. P.; Rezende, s. P.. **Problemas da impermeabilização excessiva do solo.** In: colóquio estadual de pesquisa multidisciplinar, 2; congresso nacional de pesquisa multidisciplinar, 1. Anais. 2018.

NEITHALATH, N., WEISS, J., e OLEK, J. (2006). **Characterizing enhanced porosity concrete using electrical impedance to predict acoustic and hydraulic performance.** Cement and Concrete Research,36(11), 2074-2085. DOI: 10.1016/j.cemconres.2006.09.001.

NORHIDAYAH, A. H.; MAHMUD, M. Z. H.; RAMADHANSYAH, P. J. (2014). **Air void characterization in porous asphalt using X-ray computed tomography.** In: Advanced materials research. Trans Tech Publications. p. 443-448. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.911.443.

Oke, T. R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J. A. **Urban Climates.** Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

Otoni, A. B.; Rosin, J. A. R. G.; Foloni, F. M.. **Drenagem urbana: soluções alternativas sustentáveis.** Tupã: Associação Amigos da Natureza, 2018.

P. K. PEREIRA, J.H.S.Q, PASSOS, E.B.; LOCKS, M.P.R.FURTADO, M. I. BOCK, A.F. (Organizadores) **Diagnóstico participativo da drenagem urbana de Florianópolis,** 2019.

PELLEGRINO, Rosely. **Prefeitura anuncia macrodrenagem para acabar com alagamentos em Itaipuaçu.** 2014. Disponível em: <https://roselypellegrino.wordpress.com/2014/09/23/prefeitura-anuncia-macrodrenagem-para-acabar-com-alagamentos-em-itaipuau/>.

PMSP (PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO). **Dimensionamento de pavimentos com blocos intertravados de concreto. IP-06/2004.** São Paulo, 2004.

PMSP. PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. Secretaria Municipal de **Gerenciamento do sistema de drenagem urbana. Volume I.** São Paulo, 2012.

POLASTRE, P.; SANTOS, A. C. **Pavimentação permeável como elemento de drenagem urbana sustentável. Soluções para Cidades,** 2006. Disponível em: <https://www.periodicos.uniuv.edu.br/enaproc/article/view/139>.

POLETO, C.; TASSI, R. **Sustainable Urban Drainage Systems. In: Drainage Systems.** INTECH, p. 185, 2011. p. 81-103.

PRATT, C. J. Use of permeable, reservoir pavement constructions for stormwater treatment and storage for re-use. **Water science and technology**, v. 39, n. 5, p. 145-151, 1999.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Lei nº 7982, de 09 de setembro de 2002. Denomina a Servidão Canto do Canto como via pública no Canto da Lagoa.** Autor: Vereador Degalber Goulart. Florianópolis: Câmara Municipal de Vereadores de Florianópolis, 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Infraestrutura. **Teste de Percolação – Servidão Canto do Canto, Canto da Lagoa.** Florianópolis: SMI, 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Infraestrutura. **Levantamento topográfico – Servidão Canto do Canto, Canto da Lagoa.** Florianópolis: SMI, 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Transportes e Infraestrutura. **Memorial Descritivo de Engenharia: Requalificação da Rua Jornalista Lázaro Bartolomeu – Morro da Cruz.** Florianópolis: SMTI, 2024.

PREFEITURA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. Secretaria Municipal de Transportes e Infraestrutura. **Projeto executivo de pavimentação servidão Knussen.** Florianópolis: SMTI, 2023.

RUTGERS UNIVERSITY. **How roads can help cool sizzling cities.** Rutgers, 2022. Disponível em: <https://www.rutgers.edu/news/how-roads-can-help-cool-sizzling-cities>. Acesso em: 23 set. 2024.

RWMWD (RAMSEY WASHINGTON METRO WATERSHED DISTRICT). **Porous Asphalt Parking Lot: Technical Series on District Office Demonstration Features.** Minnesota, EUA. 2006.

SANTOS, J. M.; SOUZA, L. F.; CRUZ, T. C.; TUCCI, C. E. M. **Análise de cenários resultantes da impermeabilização de espaços destinados à circulação e permanência de pedestres.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 5, n. 3, p. 21-29, 2012.

SETTI, Rafael Fabião. **Gestão de riscos de enchentes: medidas não convencionais em drenagem urbana.** Dissertação (Monografia), Universidade Federal Fluminense, 2016.

SEVERI, Andra Arantes. **A importância da contagem de tráfego para os projetos rodoviários e projetos de pavimentos.** Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT), 15 jun. 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-traffic/11.AimportnciadaContagemdeTrfegoparaosProjetosRodoviriosProjetosdePavimentosAndraArantesSeveri15.06.2016.pdf>.

SILVA, H.L. (2008) **Desenvolvimento agrícola, gestão do território e efeitos sobre a sustentabilidade na região Centro-Oeste, Brasil**. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Sustentável). Universidade de Brasília: Brasília.

SILVA, J.P. **Estudos Preliminares para Implantação de Trincheiras de Infiltração**. 2007. Dissertação de (Mestrado em Geotecnia). Universidade de Brasília, 2007.

SOUSA, Matheus M. **Drenagem urbana: clássica x sustentável**. AquaFluxus, 29 jul. 2011. Disponível em: <https://www.aquafluxus.com.br/drenagem-urbana-classica-x-sustentavel/?lang=en>.

SOUZA, Amanda Medeiros de. **Técnicas de Drenagem Urbana Sustentável na Bacia do Rio João Gualberto, Florianópolis, SC utilizando modelagem (SWMM)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2024.

Stone Reservoirs. FHWA Technical Brief. (Pub. No. FHWA-HIF-15-009), 2015.

Svetlana Vujovic, Bechara Haddad, Hamzé Karaky, Nassim Sebaibi Mohamed Boutouil. **Urban Heat Island: Causes, Consequences, and Mitigation Measures with Emphasis on Reflective and Permeable Pavements**. *Proceedings of the 2nd International Conference on Urban Climate (ICUC)*, v. 2, n. 2, p. 26, 2023. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2673-4109/2/2/26>. Acesso em: 23 set. 2024.

TOMAZ, P. **Poluição Difusa: Pavimento poroso. Curso de Manejo de águas pluviais**. 2009. Disponível em: <<http://pliniotomaz.com.br/livros-digitais/>>.

TRABAQUINI, Kleber. **Imagens de satélite mostram que 25% de Florianópolis está urbanizada**. Epagri, 2021. Disponível em: [<https://www.epagri.sc.gov.br/index.php/2021/03/04/imagens-de-satelite-mostram-que-25-de-florianopolis-esta-urbanizada/>].

TUCCI, C. E. M. (2006). **Gestão de Águas Pluviais Urbanas**. Ministério das Cidades. Global Water Partnership. World Bank. Unesco. 192p.

TUCCI, C.E.M.; COLLISCHONN, W. (1998). **Drenagem urbana e Controle de Erosão**. VI Simpósio nacional de controle da erosão. 29/3 a 1/4 de 1998, Presidente Prudente, São Paulo.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem urbana**. Alma/SFX Local Collection. Ciência e cultura (São Paulo), Vol.55 (4), p.36-37, 2003.

UNHSC (UNIVERSITY OF NEW HAMPSHIRE STORMWATER CENTER). **UNHSC Design Specifications for Porous Asphalt Pavement and Infiltrations Beds**. New Hampshire, USA: UNHSC Center, 2014.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Evaluating the potential benefits of permeable pavement on the quantity and quality of stormwater runoff**. Disponível

em: <https://www.usgs.gov/centers/upper-midwest-water-science-center/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement>. Acesso em: 23 set. 2024.

USGS (UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY). **Evaluating the Potential Benefits of Permeable Pavement**. 2019. Disponível em: <https://www.usgs.gov/centers/upper-midwest-water-science-center/science/evaluating-potential-benefits-permeable-pavement>.

VAREJÃO-SILVA, M.A. (2006) **Meteorologia e Climatologia**. Versão Digital, Recife. 2.ed.

Vaz, Igor Catão Martins. **Estudo da Utilização de Pavimentos Drenantes com fins de Captação de Água Pluvial para Economia de Água Potável em Universidades Públicas**. Universidade Federal de Santa Catarina –Centro Tecnológico –Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/202844>.

VIEIRA, V.T. & CUNHA, S.B. (2006) **Mudanças na Rede de Drenagem Urbana de Teresópolis-RJ**. In: GUERRA, A. J. T. e CUNHA, S. B. (orgs). Impactos Ambientais Urbanos no Brasil –4ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p.111-145.

VIRGILIIS, A. L. C. **Procedimentos de Projeto e Execução de Pavimentos Permeáveis Visando Retenção e Amortecimento de Picos de Cheias**. Dissertação (Monografia). Universidade de São Paulo. São Paulo. 2009.

WASHINGTON STORMWATER CENTER. **Permeable pavement**. 2024. Disponível em: <https://www.wastormwatercenter.org/low-impact-development/permeable-pavement/>. Acesso em: 25 set. 2024.

WEISS, P. T., KAYHANIAN, M., GULLIVER, J. S., e KHAZANOVICH, L. (2019). **Permeable pavement in northern North American urban areas: research review and knowledge gaps**. International Journal of Pavement Engineering, 20(2), 143-162. DOI: 10.1080/10298436.2017.1279482.

XIE, N., AKIN, M., e SHI, X. (2018). **Permeable concrete pavements: A review of environmental benefits and durability**. Journal of cleaner production. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.11.134.

ZIEMANN, Felipe Marcell; PICKLER, Renato Tomé. **Diagnóstico da drenagem urbana no bairro Canasvieiras: estudo de bacias hidrográficas e medidas de controle**. Florianópolis: Universidade do Sul de Santa Catarina, 2017.