



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Laura Ferreira Machado

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E REUSO
DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS NO CENTRO DE
FLORIANÓPOLIS-SC**

Florianópolis

2024

Laura Ferreira Machado

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E REUSO
DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS NO CENTRO DE
FLORIANÓPOLIS-SC**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Civil do Centro Tecnológico, Campus Florianópolis, da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

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

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC.
Dados inseridos pelo próprio autor.

Machado, Laura Ferreira

VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E
REUSO DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS NO CENTRO DE
FLORIANÓPOLIS-SC / Laura Ferreira Machado ; orientadora,
Liseane Padilha Thives, 2024.

72 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. reuso
de água. 4. água pluvial. I. Thives, Liseane Padilha. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Civil. III. Título.

Laura Ferreira Machado

**VIABILIDADE DE IMPLANTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS E REUSO
DE ÁGUA PLUVIAL PARA FINS NÃO POTÁVEIS NO CENTRO DE
FLORIANÓPOLIS-SC**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheira Civil e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia Civil.

Florianópolis, 3 de dezembro de 2024.

Prof^ª. Lia Caetano Bastos, Dr^ª.

Coordenadora de Trabalhos de Conclusão de Curso

Banca examinadora



Prof^ª. Liseane Padilha Thives, Dr^ª.

Orientadora

Prof^ª. Luciana Rohde, Dr^ª.

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Hedelvan Emerson Fardin, MSc.

Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 2024

“Aprendi que a coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre ele. O homem corajoso não é aquele que não sente medo, mas o que conquista esse medo”

(Nelson Mandela, 1995).

RESUMO

A disponibilidade de água é afetada pelas mudanças climáticas que contribuem para a escassez hídrica em algumas regiões, enquanto chuvas intensas e frequentes têm ocorrido no planeta. Por outro lado, em diversas atividades como descarga em banheiros, o uso da água poderia ser não potável. A coleta de água a partir de pavimentos permeáveis e reuso para fins não potáveis pode ser uma alternativa de sustentabilidade hídrica. A universalização dos serviços do setor de saneamento devem incluir os espaços públicos. Neste cenário se inserem os banheiros públicos, infraestruturas essenciais para cidades sustentáveis e ainda insignificantes no Brasil. Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade de captação de água de chuva por meio da implantação de pavimentos permeáveis para reuso em fins não potáveis. O estudo foi conduzido em áreas de calçada centrais de Florianópolis, Santa Catarina, cuja água coletada e armazenada se destina ao uso em banheiros públicos, lavagem de calçadas e rega de jardins. A metodologia adotada envolveu uma revisão bibliográfica sobre pavimentos permeáveis e sistemas de reuso de água, seguida do dimensionamento estrutural e hidráulico do pavimento. No dimensionamento estrutural, foram aplicados dois modelos para definir as espessuras das camadas adequadas às cargas de tráfego do local de estudo. O modelo hidráulico considerou uma camada de armazenamento de 27 cm para infiltração e retenção temporária da água da chuva. Além disso, foram realizadas simulações no programa Netuno 4 para estimar o volume ideal de reservatório, variando até 100.000 litros, sendo 40.000 litros o valor que proporcionou maior eficiência, com potencial de economia de até 47,71% de água potável. Os resultados indicaram que a combinação de pavimentos permeáveis com um sistema de captação e armazenamento é viável e pode reduzir significativamente o consumo de água potável e o escoamento superficial nas áreas centrais da cidade, promovendo uma gestão hídrica urbana mais sustentável. Espera-se contribuir para o planejamento urbano por meio de uma alternativa sustentável e melhoria de um espaço público necessário, como o banheiro público.

Palavras-chave: pavimentos permeáveis; água pluvial; reuso de água.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Vala de infiltração.....	20
Figura 2 - Trincheira de infiltração	21
Figura 3 - Piso intertravado em fileira	24
Figura 4 - Piso intertravado escama de peixe	24
Figura 5 - Piso intertravado hexagonal	24
Figura 6 - Pavimento de bloco de concreto vazado preenchido com grama	24
Figura 7 - Tipo I: Infiltração total	25
Figura 8 - Tipo II: Infiltração parcial	26
Figura 9 - Tipo III: Sem infiltração.....	26
Figura 10 - Seção transversal típica de um pavimento permeável de concreto intertravado ...	27
Figura 11 – Preparação do subleito.....	28
Figura 12 – Posicionamento da manta geotêxtil não-tecido.....	28
Figura 13 - Execução das camadas de sub-base e base	29
Figura 14 - Rejuntamento	29
Figura 15 – Assentamento das peças pré-moldadas de concreto	29
Figura 16 - Compactação	29
Figura 17 - Exemplo de banheiro autolimpante	36
Figura 18 - Banheiro Autolimpante em Florianópolis.....	37
Figura 19 - Parte externa do banheiro autolimpante	38
Figura 20 - Instruções do banheiro.....	38
Figura 21 - Painel do banheiro autolimpante	38
Figura 22 - Parte interna do banheiro.....	38
Figura 23 - Localização área de estudo.....	39
Figura 24 - Área de estudo.....	40
Figura 25 – Parte do calçamento da Rua Felipe Schmidt	40
Figura 26 – Estabelecimento da espessura da camada de sub-base.	43
Figura 27 - Espessura base granular (H_{BG}).....	43
Figura 28 - <i>Interface</i> do programa Netuno 4	49
Figura 29 - Localização do reservatório	50
Figura 30 - Precipitação média mensal entre 2014 e 2023.....	51

Figura 31 - Seção transversal (unidades em mm)	53
Figura 32 - Seção transversal modelo 2 (unidades em mm).....	54
Figura 33 - Potencial de economia de água potável para diferentes áreas de captação.....	56
Figura 34 - Diferença entre potenciais de atendimento pluvial para diferentes áreas de captação	57
Figura 35 - Volume extravasado para diferentes áreas de captação	58
Figura 36 - Localização dos Banheiros	60
Figura 37 - <i>Layout</i> Final	61
Figura 38 - Parque da Luz	62
Figura 39 - Parque de Coqueiros.....	62
Figura 40 - Beira Mar de São José.....	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Camadas de um pavimento permeável de concreto intertravado	28
Quadro 2 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento.....	44
Quadro 3 - Valores de Tempo de Retorno	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Uso final de água tratada para consumo doméstico em condomínio residencial localizado no bairro Trindade, em Florianópolis/SC	30
Tabela 2 – Estimativa dos usos finais de água para UFSC	31
Tabela 3 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis	32
Tabela 4 - Parâmetros característicos para água de reuso Classe 1	33
Tabela 5 - Parâmetros do tráfego	42
Tabela 6 - Material e espessura das camadas do pavimento	44
Tabela 7 - Intensidade de precipitação.....	54
Tabela 8 - Dados de entrada Netuno 4	56
Tabela 9 - Escolhas para o estudo	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABCP	Associação Brasileira de Cimento Portland
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
BMP	Best Management Practices
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CIRIA	<i>Construction Industry Research and Information Association</i>
CNUMAD	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CPA	Camada Porosa de Atrito
EUA	Estados Unidos da América
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Intensidade-duração-frequência
ITB	Instituto Trata Brasil
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NAPA	<i>National Asphalt Pavement Association</i>
ONU	Organização das Nações Unidas
SUDS	Sustainable Urban Drainage Systems
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	OBJETIVO GERAL.....	17
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	DRENAGEM URBANA	19
2.1.1	Controle na fonte	20
2.1.1.1	<i>Valas de infiltração.....</i>	20
2.1.1.2	<i>Trincheiras</i>	21
2.1.1.3	<i>Pavimentos permeáveis</i>	21
2.2	PAVIMENTOS PERMEÁVEIS	22
2.2.1	Classificação segundo tipo de revestimento.....	23
2.2.2	Classificação quanto à infiltração no subleito	25
2.2.2.1	<i>Tipo I: Infiltração total.....</i>	25
2.2.2.2	<i>Tipo II: Infiltração parcial.....</i>	25
2.2.2.3	<i>Tipo III: Sem Infiltração.....</i>	26
2.2.3	Estruturas de pavimentos permeáveis	26
2.2.4	Execução.....	28
2.3	CONSUMO DE ÁGUA.....	30
2.3.1	Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis.....	31
2.4	BANHEIROS PÚBLICOS	33
3	METODOLOGIA.....	39
3.1	ÁREA DE ESTUDO	39
3.1.1	Regime de chuvas de Florianópolis	41
3.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	41
3.2.1	Tráfego	41
3.2.2	Procedimento	42
3.2.3	Dimensionamento hidráulico	44
3.2.3.1	<i>Materiais do pavimento modelo.....</i>	44
3.3	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	47
4	RESULTADOS	51
4.1	ANÁLISE DE DADOS.....	51

4.1.1	Índices pluviométricos	51
4.1.2	Área de coleta	52
4.2	DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO.....	52
4.2.1	Modelo 1.....	53
4.2.2	Modelo 2.....	53
4.3	DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	55
4.4	BANHEIROS.....	59
4.4.1	Outros locais para aplicação.....	61
4.5	LIMITAÇÕES DO ESTUDO	63
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A disponibilidade per capita de água doce vem sendo reduzida rapidamente, face ao aumento gradativo da demanda para seus múltiplos usos e à contínua poluição dos mananciais. A escassez de água é um dos fatores limitantes para o desenvolvimento agrícola, urbano e industrial (ANA; FIESP; SINDUSCON-SP, 2005).

De acordo com um relatório publicado pela Organização das Nações Unidas (ONU), há risco potencial de escassez global de água na América Latina e em diversas partes do mundo, cuja disponibilidade hídrica era abundante. Nos últimos 40 anos o uso da água potável tem aumentado 1% ao ano e estima-se que até 2050 essa taxa de crescimento tende a se elevar (Bischoff, 2023).

Dentre as alternativas, o reuso de água é considerado como um caminho viável para a preservação dos recursos hídricos. A Agenda 21, que constitui um documento de instrumento de planejamento para a construção de sociedades sustentáveis, o qual foi elaborado na Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD), conhecida como Rio 92, sediada no Rio de Janeiro, RJ (Brasil) em 1992. O Capítulo 18 da Agenda 21, trata da proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos (CNUMAD, 1992).

Rezende (2016) complementou que na Agenda 21, Capítulo 18, são enfatizados o reuso de águas residuais e o aproveitamento da água da chuva como medidas fundamentais para a gestão eficiente dos recursos hídricos e a proteção ambiental, abrangendo tanto áreas urbanas quanto rurais. Destaca-se ainda, a importância da utilização da água da chuva para usos não potáveis, substituindo a água potável em atividades que não requerem este tipo de recurso. O capítulo 18 da Agenda 21, no parágrafo 18.12, está descrito o seguinte objetivo:

“Desenvolver fontes novas e alternativas de abastecimento de água, tais como dessalinização da água do mar, reposição artificial de águas subterrâneas, uso de água de pouca qualidade, aproveitamento de águas residuais e reciclagem da água” (Agenda 21, 1992, p. 4)

O uso inadequado de equipamentos hidráulicos e os vazamentos em instalações contribuem significativamente para o aumento no consumo de água potável, um

recurso cada vez mais precioso. Em Florianópolis/SC, de acordo com a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), empresa responsável pela rede de distribuição de água potável no município, em 2022, numa inspeção nas de redes de distribuição e adutoras foram identificados 120 vazamentos ocultos (CASAN, 2022). No Brasil, conforme levantamentos do Instituto Trata Brasil em conjunto com outras parcerias (ITB, 2024), a perda média de água tratada no país é de 37,8%, enquanto que a média de países desenvolvidos é de 15,0%. Portanto, é crucial explorar novas abordagens para utilizar a água de maneira mais eficiente.

Uma solução viável é a captação de água da chuva, que, por ser um recurso natural abundante em muitas regiões do Brasil, pode ser utilizada em diversas aplicações que não requerem água potável.

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), nos “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental” desde 1992, adota uma classificação para reuso de água potável e não potável. Quanto aos diversos fins que não necessitam do uso de água potável, destacam-se agrícola, industrial, aquicultura e urbanos como rega de jardins e campos, descarga sanitárias, lavagem de pavimentos e veículos, enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais. (ABES, 2015)

Um exemplo de aplicação de água de reuso para fins agrícolas é feita em Monterey County (Estados Unidos da América, estado da Califórnia), a água pluvial é coletada e submetida por filtração e desinfecção em uma estação com capacidade de 110 mil m³/d. Posteriormente, a qualidade da água é analisada quanto aos padrões estabelecidos e usada para irrigar culturas que são, em geral, ingeridas cruas (alface, brócolis, morangos) (ABES, 2015). Neste sentido, observa-se que há alternativas de reuso de água para minimizar a escassez hídrica do planeta.

Nos centros urbanos das cidades se concentram as atividades de comércio e trabalho e conseqüentemente a circulação de pessoas é intensa. Nestes lugares, em geral, observa-se uma carência de banheiros públicos em número e capacidade, mas também há experiências com sucesso. Um exemplo, são os banheiros autolimpantes instalados em locais de grande movimentação na cidade de Paris, na França. Esses banheiros, após serem utilizados, fecham-se automaticamente e após uso, é realizada uma limpeza em poucos segundos. Em Florianópolis houve a implantação destes tipos de banheiros em 2023. Esta tecnologia pode inspirar a integração de sistemas que

utilizem água de chuva para funções como descargas e limpeza, promovendo a sustentabilidade hídrica e o uso eficiente dos recursos naturais em ambientes urbanos. A água que abastece estes equipamentos é proveniente da rede pública de distribuição. Por outro lado, uma aplicação potencial para o aproveitamento de águas de chuva é em banheiros públicos, cuja água coletada poderia ser utilizada para descargas e limpeza.

Neste contexto, como uma alternativa de minimizar os problemas de escassez de água, se inserem os pavimentos permeáveis (drenantes). O pavimento permeável surgiu entre os anos de 1945 e 1950 na França, sendo definido como uma estrutura que apresenta todas as camadas drenantes e que permite a infiltração da água da chuva (Suzuki *et al.*, 2014). As camadas dos pavimentos permeáveis possuem materiais cuja composição granulométrica permite a obtenção de um elevado volume de vazios e vazios conectados, possibilitando a infiltração da água no solo ou captação em uma camada denominada de reservatório, por meio de um sistema de drenagem.

Os pavimentos permeáveis estão incluídos nos requisitos de Melhores Práticas de Gestão (*Best Management Practices – BMPs*) quanto à preservação do meio ambiente e bem-estar da sociedade, bem como nos Sistemas de Drenagem Sustentáveis (*Sustainable Urban Drainage Systems – SUDS*) como têm sido técnicas, medidas e tecnologias de engenharia desenvolvidas com viés sustentável que imitam processos naturais de absorção da água ou retardamento de sua velocidade de escoamento (CIRIA, 2015)

Nos últimos anos, vários países têm implantado o controle na fonte do escoamento superficial como uma solução para problemas de drenagem urbana. Desde 1996 na Austrália, pesquisas têm sido desenvolvidas focadas em métodos de controle na fonte, e integrado às técnicas de pavimentos permeáveis em diversos projetos, como loteamentos urbanos, áreas industriais e estacionamentos. (Suzuki *et al.*, 2014)

Na Suécia, a adoção do pavimento permeável foi promovida devido à sua capacidade de resolver dois problemas significativos: (i) a redução do lençol freático, que levou à diminuição da umidade do solo e, conseqüentemente, ao adensamento do solo argiloso local; (ii) os danos causados pelo gelo no Norte deste país, onde as rodovias e as canalizações de água pluvial próximas à superfície sofriam danos consideráveis, resultando em reparos onerosos. A ampla utilização de pavimentos permeáveis interrompeu a redução do nível lençol freático e reduziu a necessidade de

sistemas de drenagem pluvial. (Suzuki *et al.*, 2014)

No Brasil, a coleta de água de chuva por meio de telhados (Teston, 2018; Maykot, 2020) e de pavimentos permeáveis (Ghisi; Belotto; Thives, 2020) para posterior reuso têm sido amplamente estudados por pesquisadores da Universidade Federal de Santa Catarina.

O município de Florianópolis, localizado no estado de Santa Catarina e cidades vizinhas que compõem a região metropolitana são dotados de diversos espaços públicos, como praças, parques e áreas de lazer ao ar livre. Observou-se, especialmente em Florianópolis, que os banheiros públicos existentes não são suficientes para atender à demanda da população.

Por outro lado, no centro de Florianópolis, há praças e calçadas, cujo pavimento pode ser do tipo permeável. Neste sentido, considerou-se que a coleta de água de pavimentos permeáveis para fins não potáveis, pode ser uma alternativa viável, como água e reuso nestes locais e ainda contribuir para minimizar os problemas de escassez de água potável. Como os pavimentos permeáveis apresentam elevada capacidade de infiltração da água de chuva, tem-se ainda como benefício, a redução do volume de escoamento superficial. Este conjunto de fatores motivaram o desenvolvimento deste trabalho, ou seja, a coleta de água a partir de pavimentos permeáveis e reuso em banheiros públicos, rega de jardins e limpeza de calçadas.

Moreira (2022) enfatizou que pessoas que não residem ou trabalham em locais convencionais (prédios e edificações) são as mais afetadas pela falta de banheiros em locais públicos.

O estudo de pavimentos permeáveis é uma alternativa importante para melhorar e tornar as cidades sustentáveis, resilientes e ambientalmente amigável. Propostas de uso de água por meios alternativos minimizarão os caminhos que as grandes cidades estão tomando atualmente, e solução para alguns problemas que as acometem são de responsabilidade de todos, principalmente do setor de infraestrutura.

1.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a viabilidade de captação de água de chuva por meio da implantação de pavimentos permeáveis em áreas de calçada centrais de Florianópolis para reuso em fins não potáveis em banheiros públicos, lavagem de calçadas e rega de jardins.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Estimar a espessura da camada de armazenamento temporário de água do pavimento permeável, com base em uma chuva de projeto representativa das condições climáticas da área de estudo;
- Realizar o dimensionamento mecânico da estrutura do pavimento permeável, considerando as cargas e condições de tráfego características da área urbana selecionada;
- Dimensionar o volume do reservatório para o sistema de captação e aproveitamento de água pluvial, utilizando os dados obtidos e os resultados do programa Netuno 4, com o objetivo de garantir a eficiência hídrica e a sustentabilidade no uso da água captada;
- Mostrar possibilidades de contribuir para a economia de água potável por meio de alternativas sustentáveis;
- Apresentar alternativas para viabilizar a oportunidade da disponibilização de banheiros públicos em áreas urbanas;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, serão apresentados os conceitos fundamentais para o desenvolvimento e compreensão deste trabalho. Primeiramente, abordam-se os princípios de drenagem urbana, seguidos pelas definições relacionadas aos pavimentos permeáveis. Por fim, discute-se o consumo de água, com foco especial para fins não potáveis como o uso em banheiros públicos.

2.1 DRENAGEM URBANA

A impermeabilização do ambiente urbano, promovida pelas edificações e pavimentação das vias, resulta na redução de áreas verdes e permeáveis. Com o aumento das superfícies impermeáveis, o volume de água que escoar superficialmente torna-se significativamente maior do que aquele que, antes da urbanização, era infiltrado no solo. Esse processo acelera o escoamento pelas redes de condutos e canais, aumentando a quantidade de água que chega simultaneamente ao sistema de drenagem, o que contribui para a ocorrência mais frequente de inundações, em comparação ao cenário anterior, em que o escoamento ocorria naturalmente por ravinamento em superfícies permeáveis. Essas inundações estão diretamente relacionadas ao processo de urbanização e à alteração da drenagem urbana (Tucci, 2012). O volume de escoamento superficial, denominado como *runoff*, pode ser mitigado com o uso de pavimentos que favoreçam a infiltração da água no solo.

O escoamento superficial é um parâmetro importante utilizado em projetos de engenharia hidráulica voltados para a proteção contra alagamentos e enxurradas. Devido à complexidade e dinamicidade do escoamento pluviométrico, o escoamento direto é influenciado por diversos fatores, como precipitação, evapotranspiração, permeabilidade do solo, umidade do solo, entre outros. Em condições de precipitação semelhantes, mais de 40% da chuva pode se transformar em escoamento superficial direto em áreas urbanas (Li *et al.*, 2018).

Para mitigar as consequências do aumento do escoamento superficial em áreas urbanas, são adotadas medidas de controle direto na fonte, que se dividem em dois tipos: estruturais e não estruturais. As medidas não estruturais envolvem ações como a emissão de alertas à população, visando prevenir, educar e capacitar as pessoas para conviverem com inundações. As medidas estruturais utilizam recursos físicos de controle, referindo-se à construção de obras como diques, barragens, canalizações e outras intervenções destinadas a conter ou desviar o fluxo das águas.

Na drenagem urbana, há dois cenários fundamentais e ações adotadas: (a) em áreas ainda não construídas, são implementadas medidas não estruturais, como legislação, fiscalização, controle e incentivos econômicos; (b) em áreas já construídas, adotam-se medidas estruturais que priorizam a contenção do escoamento na fonte ou na macrodrenagem. As medidas sustentáveis de controle tratam de reter o escoamento na fonte, no loteamento ou na macrodrenagem por meio de infiltração ou armazenamento (Tucci, 2012). Entre as medidas estruturais de controle pode-se citar três tipos, sendo: controle na fonte, microdrenagem, macrodrenagem. Neste trabalho, foi dada ênfase às medidas de controle na fonte.

2.1.1 Controle na fonte

Os sistemas de controle na fonte (*source control*) previnem a geração de escoamento superficial ao controlá-lo na origem, ou seja, no local onde ocorre a precipitação e conseqüentemente, a infiltração ou drenagem. As principais ações desses sistemas são o aumento de áreas de infiltração e percolação, e dispositivos de armazenamento temporário em reservatórios. Exemplos dessas estruturas são as valas de infiltração, trincheiras e pavimentos permeáveis, a seguir descritos.

2.1.1.1 Valas de infiltração

As valas ou valetas de infiltração (Figura 1), são dispositivos de drenagem lateral, frequentemente empregados paralelos às ruas, estradas, estacionamentos e conjuntos habitacionais, entre outros locais semelhantes.



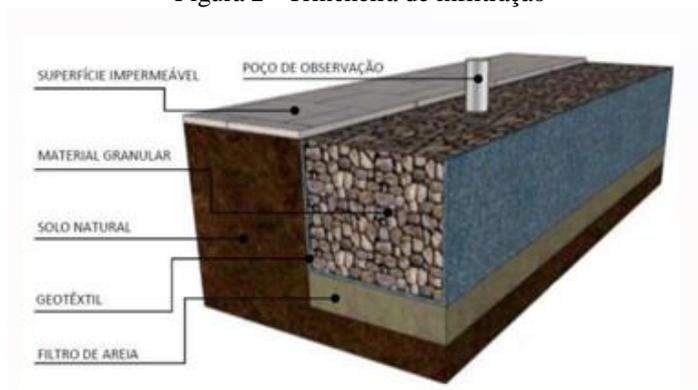
Fonte: Pinto (2006).

Estes dispositivos concentram o fluxo das áreas próximas e propiciam condições para uma infiltração ao longo do seu comprimento. Durante chuvas intensas o nível das águas se eleva e permanece com água durante algum tempo, pois a infiltração é vagarosa. Desta forma, o volume das valetas deve ser grande o suficiente a fim de que não ocorram alagamentos (Tucci, 2012).

2.1.1.2 Trincheiras

Trincheiras são drenos lineares simples, cuja vantagem é principalmente construtiva, uma vez que demandam escavações rasas, as quais são preenchidas com (agregados pétreos de grandes dimensões (pedra pulmão) ou pedras a fim de criar um armazenamento subterrâneo temporário que permita a infiltração das águas pluviais no terreno. Observa-se na Figura 2, que quanto à forma, apresentam largura e profundidade reduzidas em relação ao comprimento. Na configuração ideal, as trincheiras recebem fluxo lateral de uma superfície adjacente impermeável, mas também pode receber entradas de água de fontes pontuais (CIRIA, 2015).

Figura 2 - Trincheira de infiltração



Fonte: CEASA (2019).

Pode-se notar que as valas e as trincheiras (Figura 2) são dispositivos que permitem a infiltração da água de chuva no solo, porém, não estão previstos meios de possibilidade de coleta da água. O uso pode se restringir a locais específicos.

2.1.1.3 Pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis têm sido utilizados como sistemas de controle de águas pluviais. Esse tipo de controle apresenta as seguintes vantagens: redução do escoamento superficial previsto com relação à superfície impermeável; redução dos condutos da drenagem

pluvial; e redução de custos do sistema de drenagem pluvial e da lâmina de água de estacionamentos e passeios. As desvantagens são: a manutenção do sistema para evitar que fique colmatado com o tempo; maior custo direto de construção (Tucci, 2005). Além do pavimento permeável, o uso de revestimentos drenantes também se mostra como um tipo de superfície alternativa aos revestimentos de pavimentos impermeáveis tradicionais, seja em concreto de cimento Portland, e asfálticos ou *pavers*, considerados impermeáveis. Os conceitos e definições relativas aos pavimentos permeáveis são apresentadas em detalhes, uma vez que este tipo de estrutura é foco deste estudo.

2.2 PAVIMENTOS PERMEÁVEIS

2.1.1. Conceito

Pavimentos permeáveis são superfícies de pavimentação alternativas que permitem que o escoamento de águas pluviais filtre por meio de vazios na superfície do pavimento até um reservatório de pedra subjacente, onde a água é temporariamente armazenada e/ou infiltrada (Eisenberg *et. al*, 2015). Estas estruturas permeáveis promovem planos de desenvolvimento territorial sustentáveis, uma vez que permitem o armazenamento temporário de água, reduzem o volume de escoamento superficial, promovem a infiltração e redução da concentração de poluentes das águas pluviais e reabastecem aquíferos (Hansen, 2008)

Em pavimentos permeáveis, parte da água infiltra e outra parcela escoar (escoamento superficial), que depende da capacidade de infiltração do sistema. A água que infiltra no pavimento atravessa as camadas e pode ser conduzida ao subleito ou coletada na camada de reservatório por meio de tubos de drenagem subterrânea perfurados e encaminhada para uma instalação de escoamento ou armazenada. Assim, a capacidade de armazenamento é principalmente uma função da profundidade do reservatório subterrâneo. A água pluvial que infiltra através das camadas do pavimento pode ser armazenada temporariamente e aproveitada, infiltrar no solo ou ser escoada de forma controlada a jusante (CIRIA, 2015)

Urbonas e Stahre (1993) afirmaram que o pavimento permeável pode ser utilizado sem restrições, exceto em situações em que a água não há possibilidade de infiltração no subleito devido à baixa permeabilidade do solo, ao nível elevado do lençol freático, ou à presença de uma camada impermeável que impeça a infiltração. Nessas circunstâncias, o pavimento permeável pode atuar como um poço de detenção, utilizando uma membrana impermeável entre o reservatório e o solo existente.

2.2.1 Classificação segundo tipo de revestimento

Urbonas e Stahre (1993) estabeleceram uma classificação para os pavimentos permeáveis em três tipos:

- I. Pavimento de concreto poroso (ou permeável);
- II. Pavimento de concreto asfáltico poroso (ou drenante);
- III. Pavimento de blocos de concreto intertravados vazados (permeáveis ou drenantes) preenchidos com material granular (areia), como areia ou vegetação rasteira, como grama.

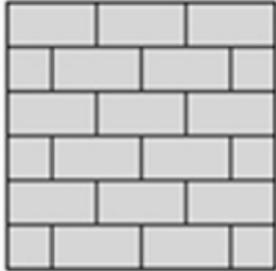
O revestimento em concreto asfáltico drenante, no Brasil denominado de camada porosa de atrito (CPA) tem granulometria tipo aberta (*open graded*), cuja produção é realizada em usinas de asfalto, da mesma forma que as misturas convencionais. Como a composição granulométrica é aberta, isto é, não contém frações finas na mistura. Com isso, possui um índice de vazios superior àquelas, cerca de 18% a 25%. Os revestimentos drenantes (concreto asfáltico drenante, concretos permeáveis ou blocos intertravados de concreto permeáveis) podem ser usados como superfície independente, ou seja, as demais camadas da estrutura não são drenantes. Considera-se que esse tipo de superfície possibilita a redução do ruído do pneu/pavimento (CIRIA, 2015).

Revestimentos de concreto modular umas das superfícies mais comum utilizando blocos intertravados de concreto (*pavers* drenantes), porém também podem ser usados blocos de pedras naturais. Todos os tipos de superfície têm juntas espaçadas preenchidas com areia para permitir a entrada de água nas camadas subjacentes. Estes revestimentos são comumente utilizados em áreas de calçadas de pedestres, estacionamentos, calçadas privadas, estradas com tráfego leve. Segundo a norma ABNT NBR 9781 (2013, p. 20 a 21), os blocos intertravados drenantes/porosos podem ser de quatro tipos, sendo:

- Tipo I: Peças de concreto com formato próximo ao retangular, com relação comprimento/largura igual a dois, que se arranjam entre si nos quatro lados e podem ser assentadas em fileiras ou em espinha de peixe, conforme
- Figura 3 e Figura 4 respectivamente;
- Tipo II: Peças de concreto com formato único, diferente do retangular e que só podem ser assentadas em fileiras;
- Tipo III: Peças de concreto com formatos geométricos característicos, como trapézios, hexágonos, triedros etc., com pesos superiores a 4 kg, como apresentado na Figura 5;

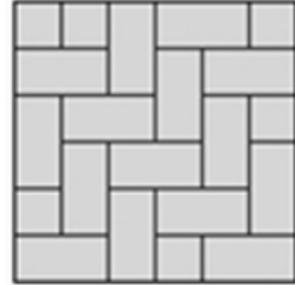
- Tipo IV: Conjunto de peças de concreto de diferentes tamanhos, ou uma única peça com juntas falsas, e diferentes paginações.

Figura 3 - Piso intertravado em fileira



Fonte: Adaptado de Salvador pré-moldados (2024)

Figura 4 - Piso intertravado escama de peixe



Fonte: Adaptado de Salvador pré-moldado (2024)

Figura 5 - Piso intertravado hexagonal



Fonte: BLOCASA (2024)

Os blocos de concreto vazados são preenchidos por grama ou cascalho, apresentado na Figura 6. Este tipo de revestimento é mais adequado para locais de pouco tráfego, principalmente onde há uso apenas sazonal, para que a grama possa crescer e se recuperar.

Figura 6 - Pavimento de bloco de concreto vazado preenchido com grama



Fonte: Mundo das Pedras (2024)

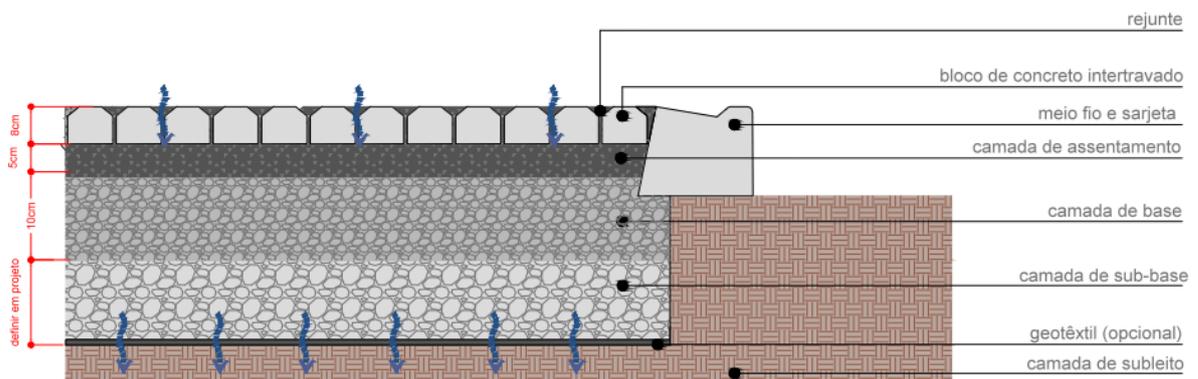
2.2.2 Classificação quanto à infiltração no subleito

Quanto à infiltração de água, independentemente do tipo camada de revestimento, os pavimentos permeáveis são classificados em três tipos (ABNT NBR 16416:2015, p. 08 a 09).

2.2.2.1 Tipo I: Infiltração total

No pavimento com infiltração total (Tipo I), toda água pluvial infiltra no solo e é direcionada para o subleito. Normalmente, não haverá descarga do sistema para um esgoto ou curso de água, já que há infiltração total. No entanto, um transbordamento de emergência pode ser necessário para atender eventos que excedem a chuva de projeto ou quando o sistema se torna menos eficiente, ou seja, redução de taxas de infiltração ao longo de sua vida útil (CIRIA, 2015). A Figura 7 ilustra o exemplo da infiltração total com a camada de revestimento em bloco de concreto intertravado.

Figura 7 - Tipo I: Infiltração total

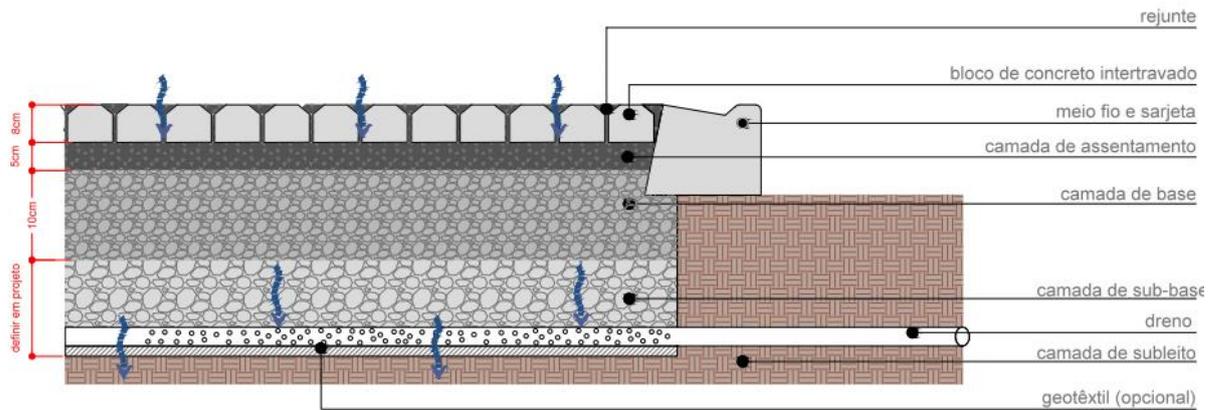


Fonte: ABCP (2013).

2.2.2.2 Tipo II: Infiltração parcial

No pavimento com infiltração parcial (Tipo II), parte da água pluvial infiltrada que excede a capacidade de infiltração do subleito é direcionada para o sistema de drenagem receptor. Esta condição pode ocorrer tanto pela drenagem direta através da sub-base quanto pelo transporte de água por meio de tubos perfurados posicionados dentro ou abaixo da mesma. Ao prevenir o acúmulo de água infiltrada no subleito, os riscos à estabilidade do solo são significativamente diminuídos. Além disso, este tipo permite uma drenagem de forma eficiente, a qual contribui para a longevidade das estruturas do pavimento, prevenindo danos causados pela infiltração excessiva de água e mantendo a integridade das camadas inferiores do solo (CIRIA, 2015). A Figura 8 mostra esse tipo de pavimento.

Figura 8 - Tipo II: Infiltração parcial

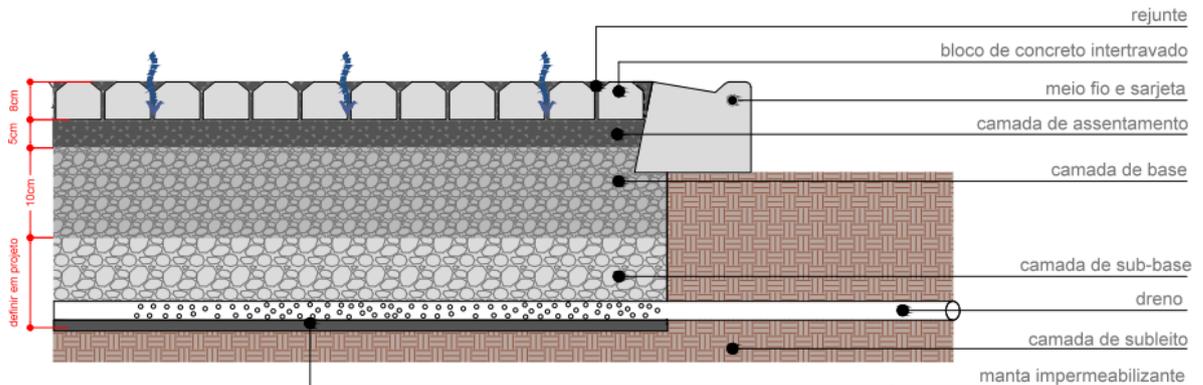


Fonte: ABCP (2013).

2.2.2.3 Tipo III: Sem Infiltração

Neste tipo de pavimento, sem infiltração, a maior parcela da água fica retida em drenos e muito pouco é conduzida ao subleito. O sistema é geralmente envolto em uma membrana flexível e impermeável colocada acima do subleito. Uma vez filtrada a água através da sub-base, esta é transportada para o emissário através de tubos perfurados. Essa é uma opção utilizada quando o objetivo é coletar e posteriormente usar a água da chuva. A Figura 9 ilustra este tipo de estrutura.

Figura 9 - Tipo III: Sem infiltração



Fonte: ABCP (2013).

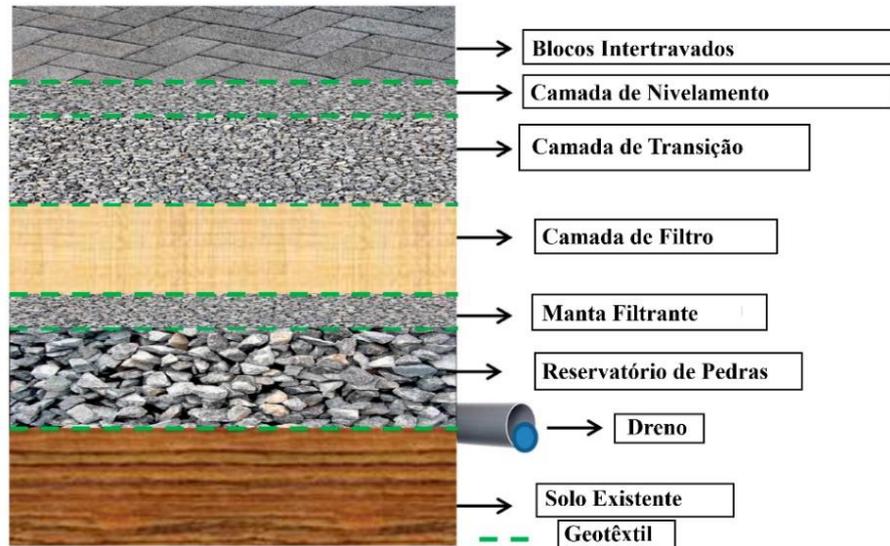
2.2.3 Estruturas de pavimentos permeáveis

Os pavimentos permeáveis são construídos para suportar cargas de tráfego, ao mesmo tempo em que possuem porosidades que permitem a infiltração de água. Dessa forma, além de servirem como superfícies para circulação de pedestres e estacionamento de veículos, também atuam como sistemas de drenagem eficientes (Ferguson, 2005).

A estrutura dos pavimentos permeáveis, tipo e composição das camadas constituintes depende do dimensionamento quanto ao tráfego e hidráulico. Segundo Schueller (1987), o pavimento permeável é composto de duas camadas de agregados, uma de agregados finos ou médios e outra de agregados graúdos. A água de chuva infiltra na camada de revestimento permeável (espessura de 5 cm a 10 cm), e após, por uma camada de 2,5cm de filtro de agregado de 1,25 cm de diâmetro disposta sobre uma camada de reservatório composta de agregados graúdos com 3,8 a 7,6 cm de diâmetro. Assim, a camada de revestimento permeável age como um conduto rápido e eficiente para o escoamento chegar às camadas filtrantes compostas por agregados com diferentes tamanhos nominais.

Num estudo conduzido na UFSC foi proposta uma estrutura de pavimento permeável com revestimento com blocos de concreto intertravados (*pavers*) drenantes. Ghisi *et al.* (2020) propuseram a estrutura mostrada na Figura 10, na qual, cada camada desempenha funções específicas, que podem ou não ser utilizadas na composição da estrutura, dependendo da finalidade para a qual o pavimento é projetado. As camadas (Figura 10) e respectivas funções são descritas no Quadro 1.

Figura 10 - Seção transversal típica de um pavimento permeável de concreto intertravado



Fonte: Ghisi *et al.* (2020).

Quadro 1 - Camadas de um pavimento permeável de concreto intertravado

Camada	Função	Agregado	Espessura
<i>Camada de Nivelamento</i>	Como superfície permeável, para acomodação de blocos intertravados e distribuição de carga para as camadas subjacentes	Agregado graúdo com granulometria uniforme e tamanho máximo de 9,5mm	5,0 mm
<i>Camada de Transição</i>	Filtro de agregado graúdo, suporte mecânico, nivelamento de superfície, camada de reservatório	Agregado contendo poucas partículas finas, granulometria contínua com volume de vazios mínimo de 32%. O diâmetro das partículas deve estar entre 4,75mm e 25mm	Normalmente, 25,4mm quando usada como camada de amortecimento e 100mm quando usada como reservatório temporário
<i>Camada de Filtro</i>	Camada opcional, utilizada para melhorar a qualidade da água filtrada para fins não potáveis	Areia com granulometria uniforme e diâmetro máximo de 4,75mm. Coeficiente de permeabilidade entre $3,5 \times 10^5$ e $2,1 \times 10^{-4}$ m/s	Mínimo de 300mm
<i>Manta Filtrante</i>	Camada intermediária entre a camada de filtro e a de reservatório, para evitar a mistura do material fino da camada de filtro com os vazios da inferior	Material granular, com diâmetro máximo de 9,5mm e gradação contínua ou granulometria intermediária aos materiais utilizados nas camadas adjacentes	Mínimo de 80mm
<i>Reservatório de pedras</i>	Camada para armazenar temporariamente a água pluvial que infiltram na estrutura	Composto por agregado graúdo com gradação contínua e volume de vazios no mínimo de 40%. Diâmetros entre 50mm e 75mm.	A espessura depende do projeto estrutural e hidráulico

Fonte: Adaptado de Ghisi *et al.* (2020).

2.2.4 Execução

A execução de pavimentos permeáveis com *pavers* é considerada simples. O Manual da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP, 2011) traz ilustrações e apresenta as melhores práticas para o sistema construtivo de pavimentos permeáveis com blocos intertravados, incluindo seu modo de execução, de acordo com a sequência ilustrada na Figura 11 à Figura 16.

Figura 11 – Preparação do subleito



Fonte: ABCP (2011).

Figura 12 – Posicionamento da manta geotêxtil não-tecido



Fonte: ABCP (2011).

Figura 13 - Execução das camadas de sub-base e base



Fonte: ABCP (2011).

Figura 14 - Rejuntamento



Fonte: ABCP (2011).

Figura 15 – Assentamento das peças pré-moldadas de concreto



Fonte: ABCP (2011).

Figura 16 - Compactação



Fonte: ABCP (2011).

Na etapa do assentamento das peças, é importante que antes de iniciar o processo de assentamento, é essencial posicionar as contenções laterais que assegurem a estabilidade horizontal do sistema. Essas contenções podem ser compostas por estruturas rígidas ou dispositivos fixados na base do pavimento, com o objetivo de evitar qualquer deslocamento. A camada de assentamento deve ser distribuída de maneira uniforme, de forma que, após a compactação, apresente uma espessura final de 50 mm. O manual contempla a execução de pavimento convencional e não inclui o permeável. Neste caso, a execução é similar, mas entre as camadas (Figura 10) podem ser instaladas mantas de geotêxtil e, especialmente sobre a camada de reservatório, a manta é indicada para prevenir a colmatção.

2.3 CONSUMO DE ÁGUA

O consumo de água no setor doméstico aumenta proporcionalmente ao nível de urbanização. Isso implica em maiores gastos de água na municipalidade, como em hospitais, creches, parques, centros esportivos e em residências com piscinas, grandes jardins, calçadas e banheiras. Exemplos desse padrão de comportamento são observados nos Estados Unidos da América (EUA), onde o consumo de água é de 250 L/hab./dia, alcançando 2.000 L/hab./dia na cidade de Nova York. Em contraste, nos países da África, o consumo de água é significativamente menor, com apenas 15 L/hab./dia. De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022) o consumo per capita de água no Brasil é de 148,2 L/hab./dia, enquanto Florianópolis possui um consumo de 165,3L/hab./dia (SINIS, 2021)

Marinoski (2007) afirmou que os usos finais da água incluem a análise do consumo em aparelhos sanitários, levando em conta o consumo total de água no local estudado. Isso permite determinar a quantidade de água utilizada por cada aparelho específico.

Em um estudo realizado por Ghisi e Ferreira (2006), foram analisados os usos finais de água em um condomínio residencial com três blocos, situado no bairro Trindade, em Florianópolis, conforme os dados apresentados na Tabela 1. No caso, os autores consideraram em vez de água potável, na bacia sanitária, limpeza e lavagem de roupas, o uso poderia ser de não potável, resultando nos consumos mostrados na Tabela 1, que variaram de 39,2% a 42,7%.

Tabela 1 – Uso final de água tratada para consumo doméstico em condomínio residencial localizado no bairro Trindade, em Florianópolis/SC

Ponto de Consumo	Uso Final (%)		
	Bloco A	Bloco B	Bloco C
Bacia Sanitária	35,1	29,7	34,8
Lavagem de Louça	33,6	12,1	14,0
Chuveiro	16,2	23,2	28,6
Lavatório	10,5	23,4	14,0
Lavagem de Roupa	2,0	5,9	6,0
Limpeza	2,1	4,5	1,9
Cocção	0,4	1,2	0,7
Total	100	100	100
Total não potável*	39,2	40,1	42,7

*Referente à soma dos pontos com destaque em cinza.

Fonte: Ghisi e Ferreira (2006).

Para áreas públicas, como edifícios comerciais, as atividades de consumo de água diferem substancialmente em relação às áreas residenciais, sendo substituídas por outras demandas específicas. Diante disso, torna-se essencial o monitoramento contínuo do uso da

água a fim de identificar o tipo de consumo predominante e sua distribuição ao longo das diversas atividades realizadas no ambiente comercial.

Botelho (2008) realizou uma estimativa detalhada dos usos finais de água no Centro Tecnológico e no Centro Socioeconômico (CSE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O estudo comparou os dados de consumo de água entre os dois centros, com o objetivo de fornecer uma estimativa do consumo total e do uso final de cada dispositivo nas instalações da UFSC. Os resultados desse levantamento estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Estimativa dos usos finais de água para UFSC

Pontos de Consumo	Uso Final (%)
Bacia sanitária	62,0
Torneira	25,0
Mictório	10,0
Bebedouro	4,0

A partir dos dados apresentados na Tabela 1 e na Tabela 2, é possível obter parâmetros referentes ao uso final por dispositivo, o que permite o adequado dimensionamento de reservatórios para o aproveitamento de água não potável em espaços públicos. Além disso, o estudo mostrou que o consumo de água potável em vasos sanitários e mictórios é elevado em edificações comerciais, representando, neste caso, 72%. Os autores complementaram que água usada na descarga em bacias sanitárias e mictórios poderia ser substituída por não potável, contribuindo para minimizar a escassez e economia de água potável.

2.3.1 Aproveitamento de água da chuva para fins não potáveis

A água de chuva incidente na superfície dos pavimentos em áreas urbanas pode servir como uma fonte alternativa de água para reuso e consumo. Para isso, é necessário que essa água seja direcionada para reservatórios e, dependendo do uso pretendido, passe por algum tipo de tratamento (Righetto, 2009). Adicionalmente, a água de chuva pode ser coletada, armazenada e posteriormente aproveitada para fins não potáveis como descargas de bacias sanitárias e mictórios, irrigação para fins paisagísticos, lavagem de calçadas e veículos, reserva de incêndio, sistema de resfriamento e uso ornamental.

A norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2019) estabelece que a água pluvial, para ser reutilizada, deve passar por um pré-tratamento, com uso de dispositivos de fácil manutenção.

Observa-se que a norma é relativa à coleta de água de telhados. Os parâmetros mínimos para a qualidade e uso não potável devem atender ao mostrado na Tabela 3.

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2005), estabelece quatro classes os tipos de água para reuso e estabelece critérios padrão para a qualidade da água de cada classe. Neste trabalho o enfoque foi dado à água de reuso Classe 1, cujo uso preponderante é para descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais, além de lavagem de roupas e de veículos. Os parâmetros característicos foram selecionados segundo o uso mais restritivo entre os acima relacionados, e estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 - Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis

Parâmetro	Valor
Escherichia coli	<200/100 ml
Turbidez	< 5,0 uT*
pH	6,0 a 9,0

* uT unidade de turbidez

Fonte: NBR 15527 (ABNT, 2019).

Cabe ressaltar que o uso da água de reuso Classe 1 (Tabela 4) pode gerar problemas de sedimentação, o que causaria odores devido à decomposição de matéria orgânica, obstrução e presença de materiais flutuante. Como solução para a melhoria da qualidade da água, citam-se:

- A detecção de cloro residual combinado em todo o sistema de distribuição;
- O controle de agentes tensoativos, devendo seu limite ser $\leq 0,5$ mg/L.

Devido a requisitos específicos do projeto, pode ser necessário desinfetar a água da chuva antes de seu uso. A desinfecção pode ser feita utilizando cloro, ozônio, ultravioleta ou outras tecnologias. No caso do uso do cloro recomenda-se a concentração de cloro residual livre entre 0,5 e 2,0 mg/L, sendo o valor máximo permitido de 5 mg/L.

Tabela 4 - Parâmetros característicos para água de reuso Classe 1

Parâmetro	Concentrações
Coliformes fecais ¹	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2UT
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO ² (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁴ (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total ⁵ (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

1. Esse parâmetro é prioritário para os usos considerados.
2. O controle da carga orgânica biodegradável evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios de decomposição.
3. O controle deste composto visa evitar odores desagradáveis, principalmente em aplicações externas em dias quentes.
4. O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques etc.
5. Valor recomendado para lavagem de roupas e veículos.

Fonte: ANA (2005)

2.4 BANHEIROS PÚBLICOS

Os banheiros públicos desempenham um papel fundamental na garantia do direito ao saneamento básico em espaços urbanos, contribuindo diretamente para a construção de cidades inclusivas e sustentáveis. Dada sua função como *interface* direta entre o espaço público e o usuário, é essencial que seu planejamento e operação considerem cuidadosamente as demandas e necessidades da população, visando proporcionar uma experiência adequada e acessível para todos (Moreira *et. al*, 2022)

De acordo com os direitos humanos ao saneamento, para atender adequadamente a todas as pessoas, cinco elementos do conteúdo normativo devem ser atendidos: (i) disponibilidade, um número adequado de instalações de acordo com o público que frequenta o local público; (ii) acessibilidade, equipamentos disponíveis a todos de forma contínua, considerando sua segurança; (iii) acessibilidade, acesso não limitado ao uso de pessoas independentemente de seu status socioeconômico; (iv) qualidade e segurança, sem danos à

saúde do usuário; e (v) dignidade, aceitabilidade e privacidade, garantindo que todas as demandas dos usuários sejam atendidas sem constrangimento ou insegurança. (Moreira *et. al*, 2022).

A Comissão de Saúde da Assembleia de Londres (*London Assembly Health Committee*) publicou um estudo intitulado "*The Toilet Paper: The London Assembly Health Committee's Three Principles for Improving Public Toilet Provision in London*" (Os Três Princípios da Comissão de Saúde da Assembleia de Londres para Melhorar a Provisão de Banheiros Públicos em Londres). Este documento destacou a relevância dos banheiros públicos na capital britânica, enfatizando seu papel crucial para garantir que Londres seja uma cidade acessível e inclusiva. Conforme descrito no estudo, os banheiros públicos são fundamentais para o bem-estar de todas as pessoas, independentemente de idade, classe social, etnia, gênero ou deficiência. Além disso, o relatório apontou que sua importância é especialmente crítica para determinados grupos da sociedade, como idosos, pais ou responsáveis por crianças, trabalhadores de entrega e transporte, pessoas trans, pessoas com deficiência, indivíduos com condições médicas, pessoas em situação de rua e turistas. A adequada disponibilização de banheiros públicos reflete diretamente o compromisso de uma cidade com a dignidade e qualidade de vida de seus cidadãos e visitantes.

No Brasil, banheiros públicos comumente utilizados se localizam no interior de estabelecimentos como *shoppings* e edifícios comerciais onde tendem a ser mais organizados e limpos. Em locais de grande circulação, com parques, avenidas e praças públicas quando tem banheiro a estrutura e limpeza básica são precárias. Há também preocupação com acessibilidade, que a maioria desses banheiros ao ar livre, em geral não apresentam. (Mendonça, 2022)

Moreira *et al.* (2022) realizaram uma pesquisa nos espaços públicos de Belo Horizonte (Minas Gerais), especificamente na orla da Lagoa da Pampulha, por meio de entrevistas para avaliar as condições dos banheiros públicos da região. Os resultados indicaram que, dos nove banheiros construídos, quatro estavam fora de serviço ou fechados, e os que permaneciam abertos funcionavam apenas em horário comercial, o que não atendiam aos períodos de maior fluxo de visitantes e moradores da cidade. A pesquisa também revelou que a insatisfação com a disponibilidade dos banheiros frequentemente levava as pessoas a interromperem seus passeios. No que diz respeito à segurança e à qualidade dos banheiros, a maioria das mulheres relatou sentir-se insegura ao utilizá-los. Quando questionados sobre possíveis soluções para a

insatisfação com a qualidade dos serviços, os entrevistados sugeriram as soluções que fossem simples, porém com manutenção constante.

A norma brasileira NBR 9050 (ABNT, 2020), estabelece e aborda a acessibilidade em edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos, estabelecendo critérios e parâmetros técnicos que devem ser seguidos durante o projeto, construção, instalação e adaptação de ambientes, sendo como um guia essencial para profissionais como engenheiros e arquitetos, para assegurar que as construções atendam às necessidades de acessibilidade universal.

No que diz respeito especificamente aos banheiros acessíveis, a NBR 9050 (ABNT, 2020), aborda os seguintes aspectos:

- Requisitos gerais;
- Tolerâncias dimensionais;
- Localização;
- Quantificação e características;
- Dimensões da bacia sanitária acessível e do boxe sanitário acessível;
- Barras de apoio;
- Bacia sanitária;
- Áreas de transferência;
- Instalação de lavatório e barras de descarga;
- Mictórios;
- Acessórios para sanitários acessíveis e coletivos;
- Espelhos, prateleiras e cabides.

Essas diretrizes visam garantir que os banheiros sejam adequados às necessidades de todas as pessoas, promovendo a autonomia e a segurança no uso desses espaços, especialmente para aqueles com mobilidade reduzida ou deficiência.

Em 17 de novembro de 1999, foi promulgada a Lei Ordinária nº 11.221 (Leis Estaduais, 2002) no estado de Santa Catarina, que estabelece a obrigatoriedade para os municípios de manterem banheiros públicos em condições adequadas de uso nas áreas centrais das cidades. Além disso, a lei determina que deve haver um banheiro público para cada contingente de cinquenta mil habitantes, visando atender às necessidades da população e promover a dignidade no acesso a serviços básicos de higiene.

Ultimamente, muitos centros urbanos ainda enfrentam a carência de banheiros públicos adequados, o que indica que, apesar da existência da lei, sua implementação e

fiscalização precisam ser aprimoradas para garantir que as normas estabelecidas sejam realmente seguidas.

Atualmente, há disponível no mercado, banheiros modernos autolimpantes. Neste tipo, o ciclo completo de limpeza dura, em média, 15 segundos, o que assegura uma rápida disponibilidade do banheiro para o próximo usuário, sem intervenção humana. Além disso, os banheiros autolimpantes possuem uma eficiência no uso de água, economizando cerca de 80% em comparação com os sistemas de descarga convencionais. Outra vantagem importante é a possibilidade de operação ininterrupta, com funcionamento programado para 24 horas por dia, 7 dias por semana, eliminando o problema do fechamento em determinados horários ou dias, como ocorre nos finais de semana.

Muitos desses sistemas são projetados para serem acessíveis a pessoas com deficiência, promovendo a inclusão e garantindo a acessibilidade universal. Na Figura 17 é mostrado um exemplo desses banheiros autolimpantes.

Figura 17 - Exemplo de banheiro autolimpante



Fonte: CleanSe® (2024)

Em 2023 foram instalados em Florianópolis, banheiros autolimpantes, porém, os mesmos foram removidos em 2024. O tema foi abordado por diversas reportagens em *sites* de jornais na cidade. Souza (2024) afirmou que os três banheiros autolimpantes que foram recentemente retirados de Florianópolis e que ficavam em pontos estratégicos do Centro da Capital instalados em 2023 foram retirados depois que o contrato com a empresa encerrou e um novo processo licitatório foi feito (ND, 2024). Os banheiros estavam localizados na Avenida Rubens de Arruda Ramos (Beira-Mar Norte), na cabeceira insular da Ponte Hercílio Luz e no Parque de Coqueiros foram retirados. A

Figura 18 ilustra o banheiro autolimpante que havia sido instalado na Avenida Rubens de Arruda Ramos (Beira-Mar Norte).

Figura 18 - Banheiro Autolimpante em Florianópolis



Fonte: ND (2024).

Em 2024, a Câmara de vereadores da cidade, por meio de requerimento, solicitou informações à Prefeitura a respeito do fechamento do banheiro autolimpante no Parque de Coqueiros (Câmara Municipal de Florianópolis, 2024).

Neste sentido, há necessidade de viabilização de alternativas que possam contribuir para o planejamento urbano, sendo o estudo voltado para o fornecimento de banheiros públicos cuja água é proveniente de pavimentos permeáveis. O armazenamento da água coletada permite ainda que os espaços públicos possam dispor de água para limpeza e ainda rega de jardins.

Os banheiros públicos da Praça XV de Novembro, em Florianópolis, são de grande importância devido à sua localização central, em uma área movimentada, com intenso fluxo de pedestres e turistas. No entanto, uma das críticas recorrentes a esses banheiros é o fato de serem pagos e fecharem durante o domingo. Além disso, a gestão de banheiros públicos pagos pode excluir o uso de pessoas que não têm condições financeiras, o que limita o acesso universal a um serviço essencial (Culleton, 2019).

A manutenção desses banheiros também enfrenta desafios, como a necessidade constante de limpeza, o que demanda uma equipe dedicada, além de questões relacionadas à segurança e vandalismo. Quando mal mantidos ou indisponíveis, afetam a percepção de cuidado com o espaço público (Culleton, 2019).

Os banheiros autolimpantes apresentam-se como uma solução tecnológica moderna que poderia substituir os banheiros atuais localizados na Praça XV de Novembro, oferecendo uma série de vantagens. Tais banheiros constituem uma inovação significativa na gestão de espaços públicos, ao proporcionar soluções práticas e eficientes para a manutenção da higiene. Esses sistemas possuem mecanismos automatizados de autolimpeza após cada uso. Assim que o usuário deixa o local, o banheiro passa por um ciclo de limpeza que inclui a lavagem do piso, a higienização do vaso sanitário e a secagem do ambiente, garantindo que o próximo usuário

encontre o local em condições adequadas de uso. Esse processo automatizado não apenas eleva o nível de conforto e satisfação do usuário, mas também reduz a necessidade de limpeza manual constante. Estas estruturas dos banheiros autolimpantes se apresentam como uma alternativa viável para a região de Florianópolis (Clean Se, 2024)

Entre a Figura 19 e Figura 22 são mostrados registros do banheiro autolimpante que estava localizado no Parque da Luz em Florianópolis/SC.

Figura 19 - Parte externa do banheiro autolimpante



Fonte: Autora (2024)

Figura 21 - Painel do banheiro autolimpante



Fonte: Autora (2024)

Figura 20 - Instruções do banheiro



Fonte: Autora (2024)

Figura 22 - Parte interna do banheiro



Fonte: Autora (2024)

3 METODOLOGIA

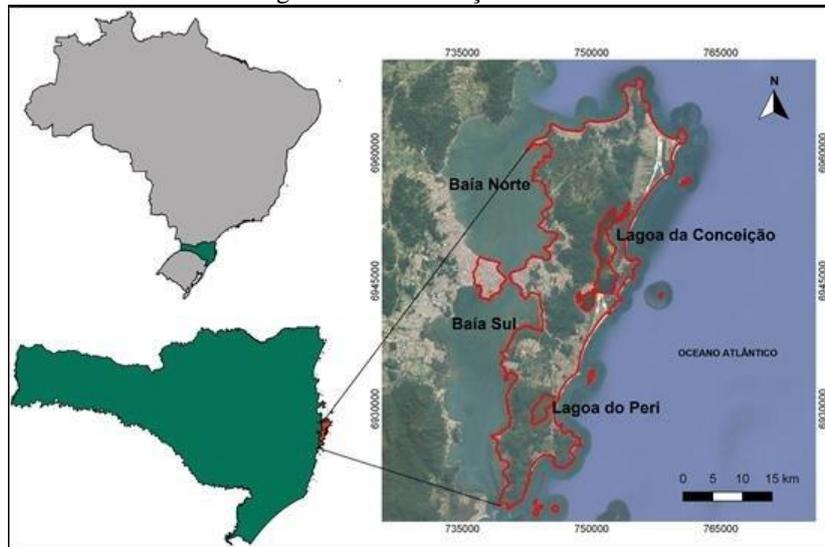
A metodologia utilizada neste trabalho baseou-se em uma pesquisa bibliográfica focada nos temas "coleta de água pluvial em pavimentos permeáveis" e "reuso urbano de água para fins não potáveis". Neste capítulo, serão descritos a área de estudo selecionada, os procedimentos metodológicos empregados no dimensionamento hidráulico do pavimento permeável e do reservatório, além da estimativa da demanda de água não potável destinada ao banheiro autolimpante.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O município de Florianópolis, com uma área de 674,84 km², situa-se na região sul do Brasil e é a capital do estado de Santa Catarina. A cidade possui uma porção continental e outra insular e conta com uma população estimada de 537.211 habitantes (IBGE, 2023).

A área de estudo delimitada para este trabalho compreende a Rua Felipe Schmidt, situada no bairro Centro, no município de Florianópolis/SC. Essa área se estende desde a interseção com a Rua Álvaro de Carvalho até a Praça XV de Novembro. Na Figura 23 é mostrada a localização, enquanto na Figura 24 encontra-se a delimitação da área de estudo.

Figura 23 - Localização área de estudo



Fonte: Lima e Bonetti (2019)

Figura 24 - Área de estudo



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

A área destinada à coleta de água pluvial foi estimada com base em imagens de satélite e uso de ferramentas de medição disponíveis no *programa Google Earth*®. Considerando que o programa não está configurado para medições de áreas com alta precisão, a área considerada para a implantação do pavimento permeável e coleta de água pluvial foi tratada como uma estimativa aproximada.

Na Figura 25, é apresentada uma foto recente (2024) da área em estudo, onde se observa que o revestimento do calçadão da Rua Felipe Schmidt é composto por pedras portuguesas. A água precipitada incide na superfície e é conduzida para as caixas coletoras posicionadas em função da declividade do calçadão.

Figura 25 – Parte do calçadão da Rua Felipe Schmidt



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

3.1.1 Regime de chuvas de Florianópolis

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram obtidos na página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A análise abrangeu o histórico de precipitações diárias de um período de 10 anos, de 01/01/2014 a 31/12/2023.

Os meses em que houve falha na captação dos dados de chuva foram desconsiderados na análise.

3.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

Pavimentos com camada de revestimento em blocos intertravados de concreto são amplamente utilizados em vias áreas urbanas, parques, pátios de estacionamento, em geral de trânsito leve. Apesar de ser um pavimento flexível, comumente é denominado de pavimento intertravado, o qual, além dos blocos de concreto (revestimento) é composto por camadas de base, e sub-base, assentes sobre o subleito. Os blocos apresentam travamento e nas juntas é colocada areia ou pó de pedra. Esse tipo de pavimento oferece benefícios como resistência, fácil manutenção e uma maior permeabilidade ao solo, o que o torna uma alternativa sustentável para drenagem urbana. O correto dimensionamento leva em conta fatores como o tráfego projetado, o tipo de solo e as condições climáticas locais, garantindo um desempenho adequado ao longo do tempo, sendo considerada uma alternativa moderna aos antigos calçamentos de pedras. (ABCP, 2011; Barros *et al.*, 2020).

Para este trabalho, o pavimento foi dimensionado conforme a norma para projetos da prefeitura de São Paulo para dimensionamento de pavimento com blocos intertravados de concreto, IP – 06 (PMSP, 2024).

3.2.1 Tráfego

De acordo com a classificação das vias e parâmetros de tráfego apresentados na IP-06 (PMSP, 2024) da prefeitura Municipal de São Paulo, a área de estudo enquadra-se na categoria de via local de tráfego leve. A rua do estudo de caso é um calçadão localizado no centro da cidade, com circulação restrita a pedestres, não recebendo fluxo constante de veículos. O tráfego veicular é esporádico e se restringe, em sua maioria, a veículos de policiamento e caminhões de pequeno porte para abastecimento das lojas, o que caracteriza uma demanda de

tráfego leve. A Tabela 5 mostra os parâmetros utilizados. Foi considerado a carga máxima legal de 10 toneladas por eixo simples de rodagem dupla (100 kN/ESRD).

Tabela 5 - Parâmetros do tráfego

Função predominante	Tráfego previsto	Vida de projeto	Volume inicial faixa mais carregada		Equivalente/Veículo	N	N característico
			Veículo Leve	Caminhão/Ônibus			
Via local	LEVE	10	100 a 400	4 a 20	1,50	2,70x10 ⁴ a 1,40x10 ⁵	10 ⁵

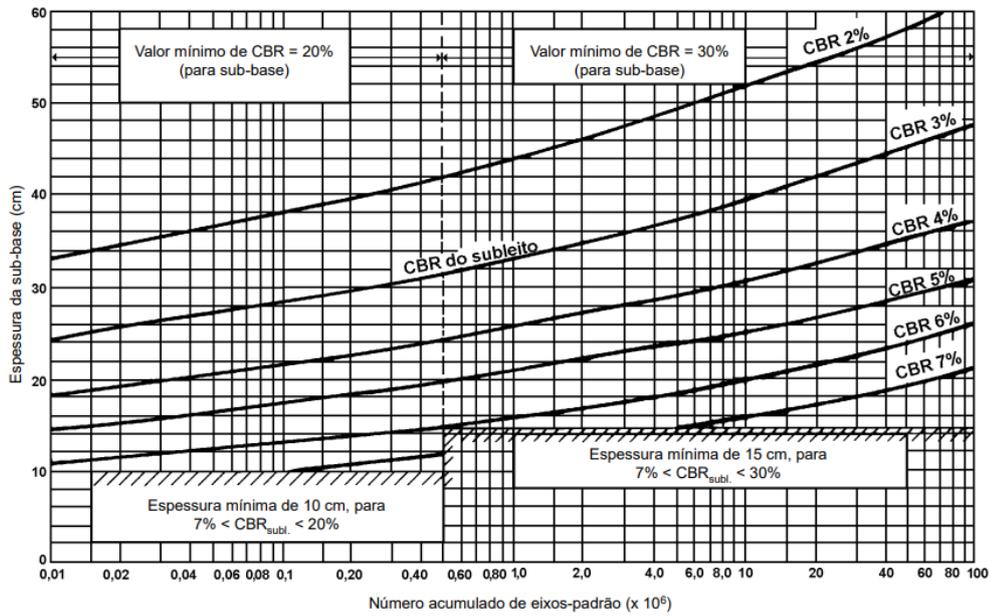
O método contempla dois tipos de procedimentos para o dimensionamento do pavimento. Para o presente estudo, foi adotado o procedimento A, uma vez que é o indicado para vias de tráfego leve. Ressalta-se que o método de dimensionamento não faz menção às camadas de pavimentos drenantes, mas foi usado para verificação da espessura total de pavimento requerida. A estrutura do pavimento permeável leva em conta ainda o dimensionamento hidráulico. Neste caso, com o objetivo de melhorar a qualidade da água pluvial coletada, considerou-se a inclusão de camada de base granular, indicada no procedimento B. Esta camada além de aumentar a capacidade de filtragem, contribui para redução da concentração de poluentes contidos no *runoff* com a remoção de impurezas de maneira mais eficiente, resultando em uma água de maior qualidade para usos não potáveis. A adoção desta camada foi baseada nos estudos de Ghisi *et al.* (2020).

3.2.2 Procedimento

No método da IP-06 (PMSP, 2024) constam dois ábacos de leitura direta para o dimensionamento da estrutura do pavimento. Na Figura 26, é estabelecida a espessura necessária da camada de sub-base em função do valor do índice de Suporte Califórnia (ISC ou CBR – *California Bearing Ratio*) do subleito e do número “N” (tráfego). Na Figura 26, observa-se que para $N < 5 \times 10^5$ o material da sub-base deve apresentar $CBR \geq 20\%$, se o subleito natural apresentar $CBR \geq 20\%$, não é necessária a utilização da camada de sub-base.

Para estabelecer a espessura da camada de base granular (HBG), conforme procedimento B da IP – 06 (PMSP, 2004), foi usada a Figura 27, cujos dados necessários são o número “N” e o CBR do subleito.

Figura 26 – Estabelecimento da espessura da camada de sub-base.



Fonte: IP-06/2004 de São Paulo (2004)

Figura 27 - Espessura base granular (H_{BG})

N.º de Solicitações equivalente do eixo padrão de 8,2 t (kN)	ESPESSURA DA BASE (H_{BG})										
	Valor do índice de Suporte Califórnia do Subleito										
	2	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	15	20
(10 ¹)	27	21	17								
2 x 10 ²	29	24	20	17							
4 x 10 ²	33	27	23	19	17						
8 x 10 ²	36	30	25	22	19						
(10 ³)	37	31	26	23	20						
2 x 10 ⁴	41	34	29	25	22	17					
4 x 10 ⁴	44	37	32	28	24	19					
8 x 10 ⁴	48	40	35	30	27	21	17				
(10 ⁵)	49	41	36	31	28	22	18				
2x10 ⁵	52	44	38	34	30	24	19				
4x10 ⁵	56	47	41	36	32	26	21				
8x10 ⁵	59	51	44	39	34	28	23				
(10 ⁶)	60	52	45	40	35	29	23	16			
2x10 ⁶	64	55	47	42	38	30	25	17			
4x10 ⁶	68	58	50	45	40	33	27	19			
8 x 10 ⁶	71	61	53	47	42	34	29	20			
(10 ⁷)	72	62	54	48	43	35	30	21			

Fonte: PMSP (2004)

Os blocos de concreto pré-moldados devem atender às especificações das normas brasileiras NBR 9880 (ABNT, 2015) e NBR 9781 (ABNT, 2013), para peças de concreto destinadas à pavimentação. A espessura para que esses blocos possam ser utilizados como camada de revestimento, é dada em função no número “N”, conforme apresentado no Quadro 2. Optou-se pelo uso de blocos permeáveis com forma retangular com 20 cm de comprimento e 10 cm de largura.

Quadro 2 - Espessura e resistência dos blocos de revestimento

TRÁFEGO	ESPESSURA DO REVESTIMENTO	RESISTÊNCIA A COMPRESSÃO SIMPLES
$N \leq 5 \times 10^5$	6,0 cm	35 MPa
$5 \times 10^5 < N < 10^7$	8,0 cm	35 a 50 MPa
$N \geq 10^7$	10,0 cm	50 MPa

Fonte: IP-06/2004 de São Paulo (2004)

3.2.3 Dimensionamento hidráulico

Embora o dimensionamento estrutural tenha sido realizado para verificação da espessura da estrutura, no caso de pavimentos permeáveis, o dimensionamento hidráulico tem extrema importância. No estudo, foi utilizada a estrutura estudada e desenvolvida por Ghisi *et al.* (2020). A estrutura apresentou elevada capacidade de infiltração (78,8%) e as camadas proporcionaram redução da concentração de poluentes, o sistema modelo foi capaz de reduzir coliformes fecais (54,7%), sólidos suspensos totais (62,5%), demanda bioquímica de oxigênio (78,8%) e concentrações totais de fósforo (55,6%), mostrando boa capacidade filtrante. Por essa razão, neste trabalho foi escolhida a estrutura mostrada na Figura 10. Esse pavimento é composto pelas seguintes camadas: Camada de Nivelamento, Camada de Transição, Camada de Filtro, Manta Filtrante e Reservatório de Pedras, descrito no item 2.2.3 do presente trabalho. O pavimento terá um dreno para a coleta da água pluvial, seguindo o pavimento tipo III descrito no item 2.2.2.3.

3.2.3.1 Materiais do pavimento modelo

Para a definição do modelo adotado neste estudo, optou-se por utilizar os materiais e respectivas espessuras descritos por Ghisi *et al.* (2020), com exceção da camada de armazenamento temporário de água, que foi dimensionada especificamente para o estudo de caso deste trabalho, de acordo com as necessidades do projeto e as condições locais. Na Tabela 6, são detalhadas as espessuras e os tipos de materiais empregados em cada uma das camadas que compõem o pavimento permeável.

Tabela 6 - Material e espessura das camadas do pavimento

Camada	Tipo de Material	Agregados (mm)	Espessura (cm)
Bloco Intertravado	Bloco	-	6,0
Camada de Nivelamento	Agregado Grosso	9,5	3,0
Camada de Transição	Agregado Grosso	19,0	3,0
Camada de Filtro	Areia Comercial	4,75	25,0
Manta Filtrante	Agregado Grosso	9,5	4,0
Reservatório de pedras	-	-	-

Fonte: Ghisi *et al.* (2020)

A escolha do material para a camada de armazenamento temporário de água em pavimentos permeáveis é um aspecto crucial para garantir tanto a durabilidade estrutural quanto a eficiência hidráulica do sistema. Conforme Acioli (2005), a escolha deve considerar a compatibilidade com a camada superficial, sendo fundamental levar em conta fatores como a intensidade e o tipo de tráfego, as exigências construtivas, a porosidade do material e o custo de implementação. O material também precisa ter a capacidade de armazenar a água pluvial temporariamente, permitindo sua infiltração no solo ou o escoamento controlado para uma rede de drenagem lateral.

Agregados britados (britas) são utilizados e indicados como materiais constituintes desta camada devido à sua alta eficiência em promover a infiltração e auxílio no aporte estrutural. Em particular, materiais com diâmetro superior a 10 mm têm sido recomendados para esse uso, conforme descrito por Acioli (2005). Schuler (1987) reforçou essa recomendação, sugerindo o uso de brita nº 3 (25 a 38 mm) ou nº 4 (38 a 64 mm) para uso na camada de armazenamento. Neste estudo, optou-se pela utilização da brita nº 3, uma vez que, de acordo com Araújo *et al.* (2000), apresenta uma porosidade variando entre 40% e 50%. Para os cálculos e simulações deste trabalho, foi adotado um valor médio de 45% para a porosidade da camada.

A camada do reservatório de pedras, pode ser dimensionada em função das características da região, conforme a Equação 1, usada por Araujo *et al.* (2000):

$$H = \frac{t(R \times i - q)}{n} \quad (1)$$

Em que: H é a espessura da camada (mm); i é a intensidade da chuva de projeto correspondente ao período de retorno e duração escolhidos (mm/h); 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 (adimensional); q é taxa de infiltração no solo (mm/h); n é o volume de vazios da camada de reservatório temporário de água (%).

A razão entre área drenada e área do pavimento, foi estimada com o uso do programa *Google Earth*® conforme Figura 24 e calculada por meio da Equação 2:

$$R = \frac{A_d}{A_t} \quad (2)$$

Em que: R é a razão entre área drenada e área do pavimento (adimensional); Ad é a área drenada (m²); At é a área total (m²).

Para determinar a intensidade da chuva de projeto (i), faz-se necessário definir o Tempo de Retorno (TR), que corresponde à frequência com que um evento extremo de precipitação ocorre ou é superado, em média, ao longo de um intervalo de tempo (Tucci, 2005). O Quadro 3 apresenta diferentes valores de tempos de retorno recomendados para obras de micro e macrodrenagem. Para este estudo, optou-se por um TR de 10 anos.

Quadro 3 - Valores de Tempo de Retorno

Tipo de Obra	Tipo de Ocupação	Período de Retorno (TR)
Micro drenagem	Residencial	2
Micro drenagem	Comercial	5
Micro drenagem	Edifícios de serviços ao público	5
Micro drenagem	Aeroportos	2-5
Micro drenagem	Áreas comerciais e artérias de tráfego	5-10
Macro drenagem	Áreas comerciais e residenciais	50-100
Macro drenagem	Áreas de importância específica	500

Fonte: DAEE/CETESB (1980)

Após a definição do Tempo de Retorno (TR), a intensidade da chuva de projeto (i) foi estabelecida com base na equação de chuvas intensas específica para Florianópolis, derivada da Curva IDF (Intensidade-Duração-Frequência). A equação foi aplicada para diferentes durações de precipitação, sendo selecionada a duração que resultou no maior volume de água, garantindo, assim, maior representatividade para o dimensionamento das soluções de drenagem. Back (2013) desenvolveu a Equação 3 com base em dados pluviométricos coletados entre 1969 e 2009, representando as condições hidrológicas da região de Florianópolis.

$$i = \frac{1168,64 * TR^{0,237}}{(t+9,12)^{0,703}} \quad (3)$$

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

Neste trabalho, o pavimento proposto corresponde ao Tipo III, conforme descrito no item 2.2.2.3, o qual é caracterizado pela minimização ou ausência de infiltração de água no solo, resultando em uma taxa de infiltração no solo (q) igual a zero.

Adicionalmente, é necessário considerar a vazão de esvaziamento da camada que atua como reservatório temporário do pavimento, direcionando essa água para o reservatório principal. Baptista *et al.* (2011) propuseram um método simplificado para o dimensionamento da vazão de esvaziamento dessa camada. Nesse método, a estrutura de drenagem é projetada

para ter uma vazão de saída constante, representada por uma vazão específica. De acordo com os autores, a vazão de esvaziamento pode ser determinada pela Equação 4, conforme descrito no estudo, permitindo um controle eficiente do escoamento de água pluvial armazenada temporariamente na camada de pavimento.

$$q_s = \frac{A_t * h}{A_d * 24} \quad (4)$$

Em que: q_s é a vazão de esvaziamento da camada de reservatório temporário (m/h); A_t é a área total (m²); A_d é a área drenada (m²); h é a altura da lâmina d'água gerada pela precipitação (mm).

3.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

No estudo, foi proposto que a água captada do pavimento permeável seja armazenada para uso em banheiros públicos. Neste caso, é necessário dimensionar o volume dos reservatórios. O programa Netuno 4 foi desenvolvido para o cálculo do volume de reservatórios e estimativa do potencial de economia de água potável. A escolha deste programa se deu pela capacidade específica de modelar sistemas de aproveitamento de água da chuva para usos não potáveis, como a descarga de sanitários e irrigação.

O programa Netuno 4 foi projetado para simular a coleta, armazenamento e distribuição de água pluvial, considerando fatores como área de captação, precipitação local e demanda de consumo. Através de cálculos automáticos, o programa permite ajustar o tamanho dos reservatórios de forma otimizada, promovendo o uso eficiente da água disponível (Ghisi e Cordova, 2014). Os reservatórios são avaliados por meio de simulações.

No programa Netuno 4, os seguintes dados de entrada são necessários para a realização das simulações:

- Precipitação diária do local (mm);
- Data inicial dos registros pluviométricos;
- Quantidade descartada do escoamento inicial (mm);
- Área de captação de água (m²);
- Demanda diária de água potável per capita (L/dia);
- Número de pessoas atendidas;
- Percentual da demanda de água que pode ser substituída por água pluvial (%);
- Coeficiente de escoamento superficial;

- Volume máximo do reservatório inferior (L);
- Intervalo entre volumes simulados do reservatório inferior (L).

O volume máximo adotado para o reservatório inferior foi de 100.000 litros e intervalos de 5.000 litros. Sendo assim, o programa realiza as simulações para diferentes volumes de reservatório, de 0 até 100.000 litros. A escolha do volume do reservatório inferior foi determinada com base na área disponível para sua instalação e na altura ideal projetada para o reservatório. Assim, após as simulações, é possível escolher o volume do reservatório que atenda às necessidades de armazenamento sem comprometer o espaço reservado ou a eficiência do sistema de captação de água pluvial.

Além disso, o escoamento superficial inicial foi considerado nulo, uma vez que toda a água infiltrada no pavimento permeável será direcionada para o reservatório, conforme instruções do manual de uso do programa. No que se refere à demanda total de água (L/dia/usuário), de acordo com Tomaz (2000), foram estimados diversos consumos de água em diferentes tipos de ambientes. Para os banheiros públicos, o autor indicou um consumo médio de 19 litros por dia por usuário, valor que será adotado como referência neste estudo.

Santos (2018) realizou um estudo intitulado *Análise comparativa do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas na rodoviária do plano piloto, Brasília-DF*. Nesse estudo, o autor conduziu a coleta e análise de dados referentes ao uso dos banheiros públicos da Rodoviária do Plano Piloto. De acordo com o estudo de Santos (2018), verificou-se que, em média, 1.733 pessoas utilizam diariamente os banheiros (masculino e feminino) localizado no andar térreo da rodoviária. Com base no estudo de Santos (2018), foi estimado o número de usuários dos banheiros públicos na área de estudo, nas proximidades da Praça XV de Novembro, em Florianópolis, aplicando-se uma abordagem proporcional. Atualmente, os banheiros públicos da região central estão localizados nas proximidades da Praça XV de Novembro.

No contexto deste estudo, a rodoviária de Florianópolis é um local caracterizado por um intenso fluxo de pessoas, tanto residentes quanto visitantes que chegam e partem da cidade. Dada a natureza desse espaço, pode-se considerar que a demanda de utilização dos banheiros da rodoviária seja consideravelmente maior em comparação aos da Praça XV de Novembro, que, embora esteja localizada na área central da cidade e seja amplamente frequentada, apresenta um volume de circulação relativamente menor.

Para entender o funcionamento e a demanda dos banheiros públicos já existentes na região, a autora realizou uma visita à Praça XV de Novembro para observação *in loco*. Os banheiros presentes no local são administrados por uma empresa privada, que mantém um controle do número diário de usuários. Através dessa análise, a mesma constatou que, a média diária de usuários do banheiro feminino era de 350 pessoas, enquanto o banheiro masculino recebeu cerca de 250 usuários por dia, totalizando uma média de aproximadamente 600 pessoas que utilizaram as instalações diariamente.

O percentual de demanda total a ser substituída por água pluvial foi definido com base no estudo de Botelho (2008), conforme citado no item 2.3. Nesse estudo, o autor avalia o uso final da água em edifícios da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e conclui que 72% do consumo de água destina-se a vasos sanitários e mictórios, enquanto 25% são utilizados em torneiras. Considerando que, neste estudo, a água pluvial captada será destinada à descarga de sanitários e à limpeza de banheiros, adota-se um percentual de substituição de 75%.

Quanto ao coeficiente de aproveitamento da água pluvial, o mesmo foi baseado no estudo de Ghisi *et al.* (2020), que calculou o percentual de infiltração do modelo de pavimento utilizado (Figura 10). Os autores obtiveram um valor de 78,8% para a capacidade de filtração do pavimento, sendo arredondado para 0,800 neste trabalho.

A Figura 28 ilustra a *interface* do programa Netuno, que mostra a tela de inserção de entrada de dados para o dimensionamento do reservatório.

Figura 28 - *Interface* do programa Netuno 4

The screenshot shows the Netuno 4 software interface with the following sections:

- Carregar simulação previamente salva**: A button to load a previously saved simulation.
- Carregar dados de precipitação**: A table with columns for "Número de registros", "Data inicial (dd/MM/yyyy)", and "Descarte escoamento inicial (mm)".
- Reservatório superior**: A section for the upper reservoir.
- Reservatório inferior**: A section for the lower reservoir, with radio buttons for "Simulação para reservatório com volume conhecido" and "Simulação para reservatórios com diversos volumes" (selected).
- Intervalo da simulação**: A section for simulation intervals, including "Volume máximo (litros)", "Intervalo entre volumes (litros)", and a checkbox for "Indicar volume ideal para o reservatório inferior".
- Simular**: A large button to run the simulation.
- Salvar simulação atual** and **Limpar campos**: Buttons to save the current simulation or clear the fields.
- Análise Econômica**: A button for economic analysis.
- Observações**: A text area for notes, with instructions: "Preencha este campo para consultas futuras, caso queira salvar a simulação. Este campo não afeta os cálculos."

Fonte: Netuno 4 (2014).

A localização escolhida para o reservatório, que será utilizado para armazenar a água pluvial coletada, está ilustrada na Figura 29. Esse local foi selecionado com base em critérios como proximidade à área de captação de água e ao ponto de utilização futuro. Na Figura 29, observa-se a localização da Praça XV de Novembro e a Rua Felipe Schmidt, e o retângulo em azul, no início da rua, representa a localização do reservatório.

Figura 29 - Localização do reservatório



Fonte: Adaptado de Google Earth® (2024).

4 RESULTADOS

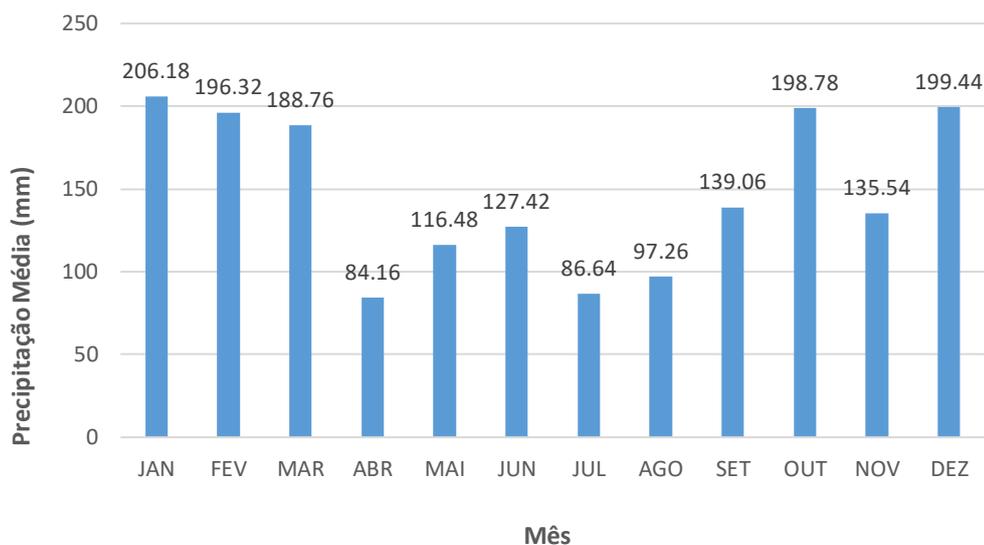
Este capítulo apresenta os resultados do dimensionamento da estrutura do pavimento permeável, bem como o dimensionamento hidráulico do reservatório destinado à captação de água pluvial para uso não potável em banheiros públicos. São apresentadas também, as alternativas de reuso da água captada a partir do pavimento permeável.

4.1 ANÁLISE DE DADOS

4.1.1 Índices pluviométricos

Com os dados pluviométricos coletados na página eletrônica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) no período de 10 anos, compreendendo de 01/01/2014 a 31/12/2023, observou-se que a região de Florianópolis possui índices pluviométricos elevados durante todo o ano. Na Figura 30, observa-se que, em média, nos meses de verão (janeiro, fevereiro e março), além de outubro e dezembro, as precipitações são mais elevadas.

Figura 30 - Precipitação média mensal entre 2014 e 2023.



O mês com maior volume médio de precipitação foi janeiro, enquanto abril apresentou o menor volume, resultando em uma diferença de 122,02 mm entre os dois meses. A diferença é inferior à média dos volumes de precipitação média anual, que é de 148,00 mm. Esse dado indica que as flutuações mensais no volume de chuva não são acentuadas, o que mostra uma certa regularidade no padrão de precipitação ao longo do ano.

4.1.2 Área de coleta

A área de captação de água pluvial, ilustrada na Figura 24, corresponde a 3.500 m² (Área 5). No processo de dimensionamento do reservatório (programa Netuno 4), foram consideradas diferentes áreas de coleta com o objetivo de analisar e comparar o volume de água pluvial extravasado. Assim, além da área de estudo inicial, foram avaliadas áreas de 3.000 m² (Área 4), 2.500 m² (Área 3), 2.000 m² (Área 2) e 1.500 m² (Área 1). Essa abordagem permitiu uma análise comparativa detalhada, evidenciando a influência da variação da área de captação no desempenho do sistema e na gestão dos volumes excedentes de água pluvial captados.

4.2 DIMENSIONAMENTO DO PAVIMENTO

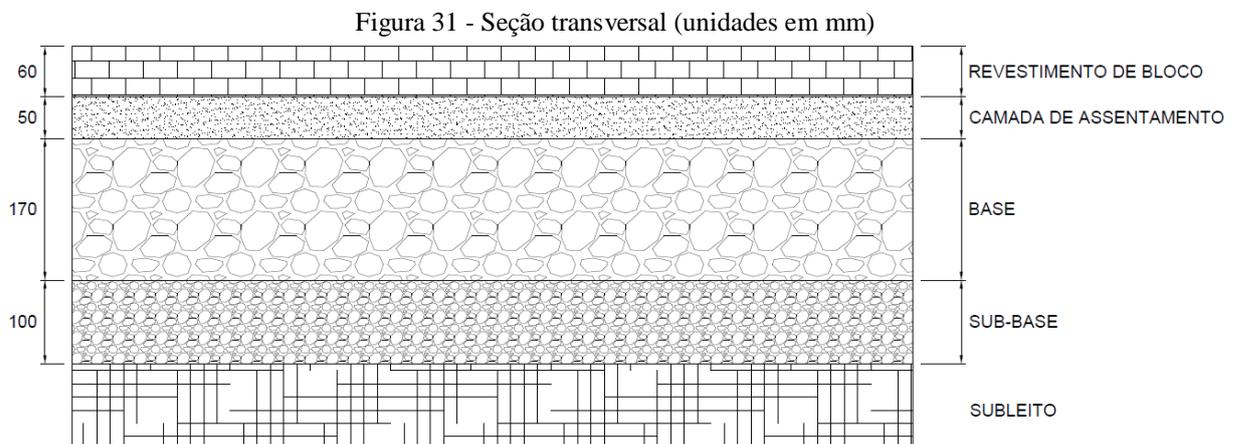
Para o dimensionamento do pavimento, foram considerados dois métodos, a norma para projetos da prefeitura de São Paulo para dimensionamento de pavimento com blocos intertravados de concreto (PMSP, 2024) e o modelo proposto por Ghisi *et al.* (2020). Nos itens 4.2.1 e 4.2.2 serão apresentados os resultados obtidos para esses modelos, respectivamente.

4.2.1 Modelo 1

Para o dimensionamento do pavimento foi utilizado o método da Prefeitura de São Paulo (PMSP, 2024), com um número de solicitações (N) de 10^5 . A capacidade de suporte do subleito foi estimada a partir dos estudos de Higashi (2006), no qual, o Índice de Suporte Califórnia (ISC ou *California Bearing Ratio* – CBR) da região da área de estudo é de 7%. Os blocos de concreto utilizados no revestimento possuem 6 cm de espessura (Quadro 2), enquanto a camada de assentamento de areia, conforme o padrão de 5 cm.

A espessura da camada de base (H_{GB}), foi definida com base no procedimento B do método, visando a melhoria na qualidade da água captada para reuso. A espessura foi determinada a partir da Figura 27, que relaciona o número de solicitações (N) com o CBR do subleito. Foi realizada uma interpolação entre os valores de CBR de 6% e 8%, cujas espessuras são 18 cm e 15 cm, respectivamente, resultando para o CBR de 7% na espessura de 17 cm.

A espessura da camada de sub-base foi obtida por meio da Figura 26, que relaciona o número de solicitações (N), o CBR do subleito e a espessura da sub-base. A partir dessa análise, a espessura da sub-base foi estabelecida na mínima de 10 cm. Por fim, a seção transversal do pavimento resultante foi definida na Figura 35, seguindo as diretrizes da norma adotada (PMSP, 2024).



4.2.2 Modelo 2

Para o modelo 2, foram adotados os dados estabelecidos por Ghisi *et al.* (2020), conforme exibido na Tabela 6. O dimensionamento da camada de reservatório foi realizado conforme descrito no item 3.2.3, considerando um período de retorno de 10 anos (TR). A

Equação 4 foi usada para determinar a intensidade da chuva para uma duração de 15 a 120 minutos, resultando nos valores de intensidade (mm/h) e altura (mm) da precipitação, apresentados na Tabela 7.

Tabela 7 - Intensidade de precipitação

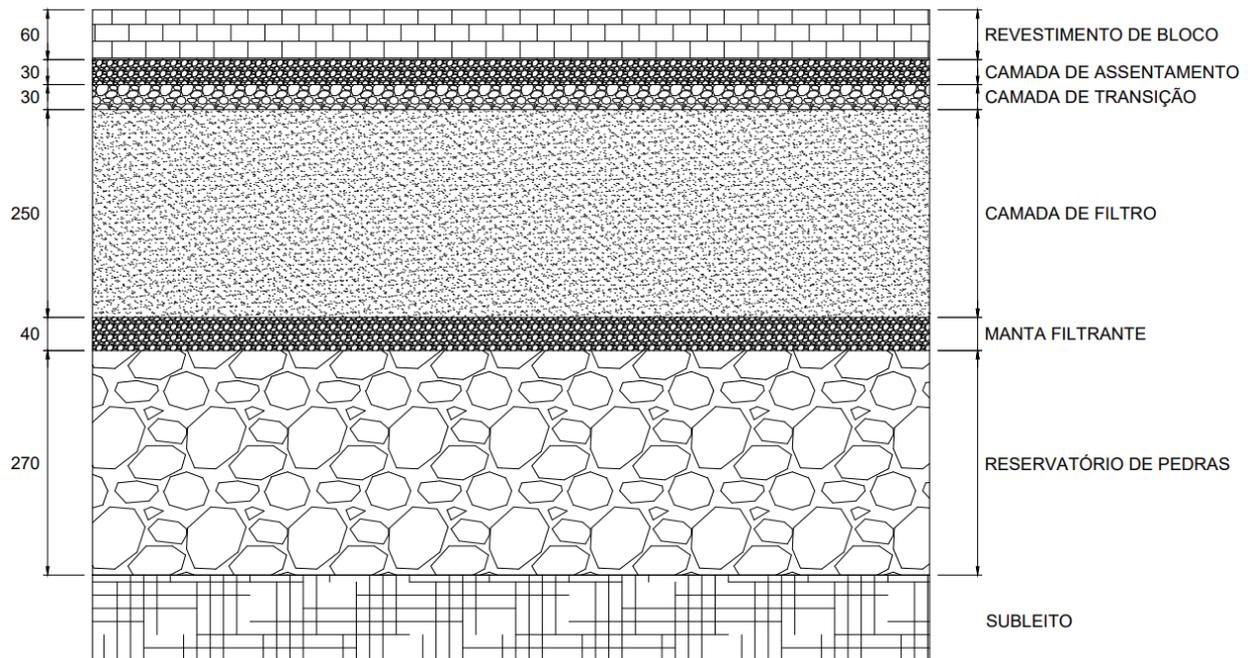
Duração (min)	Duração (hrs)	Intensidade (mm/h)	Altura (mm)
15	0,25	215,18	53,80
30	0,50	153,16	76,58
45	0,75	121,92	91,44
60	1,00	102,65	102,65
75	1,25	89,41	111,77
90	1,50	79,67	119,51
105	1,75	72,16	126,28
120	2,00	66,16	132,32

A chuva de projeto selecionada para este estudo foi baseada em um período de retorno de 10 anos, com duração de 120 minutos, resultando em uma intensidade (i) de 66,16 mm/h e uma altura (h) de precipitação de 132,32 mm.

Considerando que a área drenada é igual à área total, a razão (R) foi assumida como 1. A vazão de esvaziamento (qs) foi calculada pela Equação 4, e, com a razão das áreas igual a 1 e uma altura de precipitação de 132,32 mm, a vazão de esvaziamento da camada de reservatório foi estimada em 5,513 m³/h e o volume de vazios (n) foi adotado como 45%.

Para o cálculo da espessura da camada de reservatório, utilizou-se a Equação 1, que resultou em uma espessura de 269,53 mm, arredondada para 27,0 cm, considerada a mínima necessária para que a camada desempenhe adequadamente a função de armazenar temporariamente a água infiltrada. A Figura 32 apresenta a seção transversal do modelo do pavimento proposto.

Figura 32 - Seção transversal modelo 2 (unidades em mm)



4.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

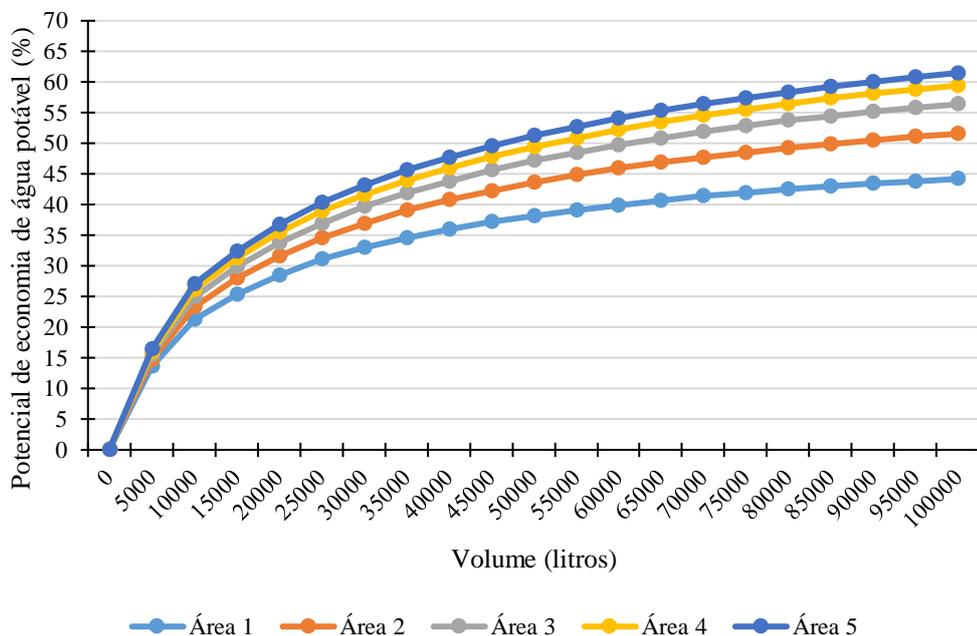
As simulações foram realizadas com as quatro áreas apresentadas no item 4.1.2, e resultaram similares. Na Tabela 8, são apresentados os dados usados nas simulações como descrito no item 3.3, e na Figura 33 são apresentados os resultados obtidos para as cinco áreas escolhidas, relacionando o potencial de economia de água potável e a variação dos volumes para o reservatório.

Tabela 8 - Dados de entrada Netuno 4

Entradas	Valor
Dados de Precipitação	Variável*
Descarte inicial	0 mm
Área de captação	Variável**
Demanda total de água	19 litros per capta/dia
Número de moradores	600
Percentual da demanda de água que pode ser substituída por água pluvial	75%
Coefficiente de escoamento superficial	0,800
Volume máximo reservatório	100.000 L
Intervalo entre volumes	5.000 L

* Detalhes no item 4.1.1
 ** Áreas indicadas no item 4.1.2

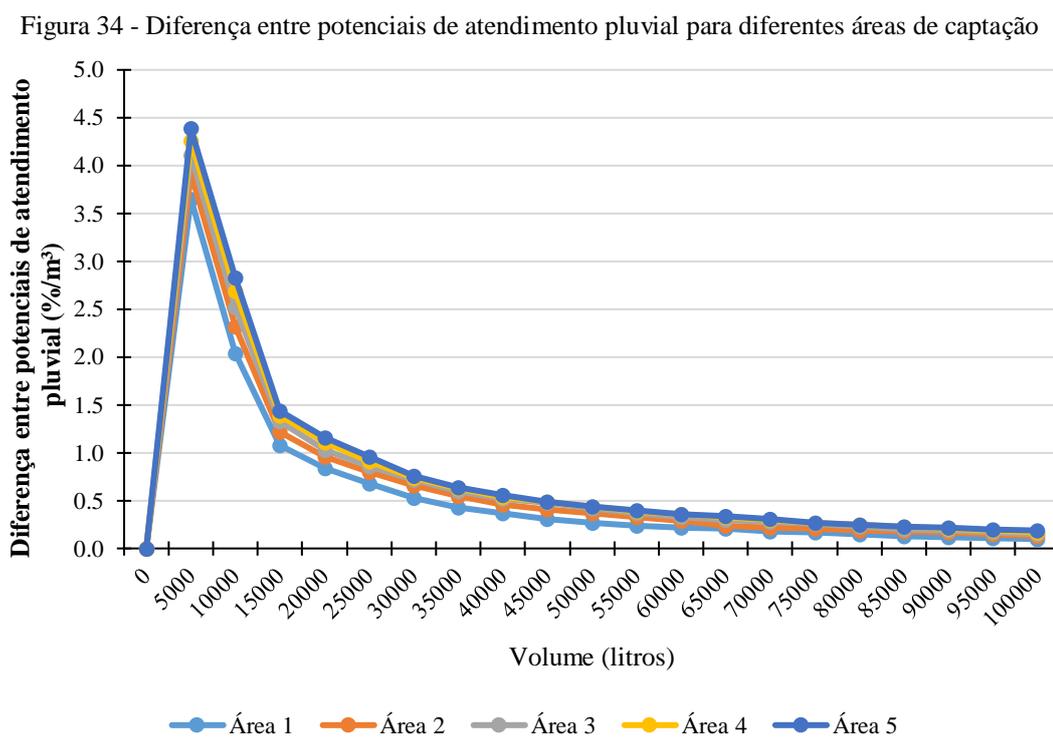
Figura 33 - Potencial de economia de água potável para diferentes áreas de captação



Na Figura 33, identificou-se que as cinco áreas de captação analisadas seguiram tendências de crescimento similares, mas a Área 5 (3.500 m²) apresentou maior potencial de economia de água em comparação as demais. A curva de cada área de captação indicou uma redução na taxa de aumento do potencial de economia a partir de determinados volumes de reservatório, indicando que para volumes superiores 50.000 litros, o ganho de economia não seria significativo. Na Figura 33, notou-se que pode ser considerada a adoção de reservatórios com volumes onde as curvas tendem ao ponto de inflexão. No trabalho adotou-se o volume de 40.000 litros para o reservatório, moldado *in loco*, sendo que essa escolha cabe ao projetista estabelecer o mais adequado para a situação. Na Figura 29 foi mostrado o local para a implantação do reservatório.

Para o reservatório (volume de 40.000 litros), os potenciais de economia de água potável obtidos foram de 36,01%, 40,76%, 43,80%, 45,97% e 47,71% para as áreas de 1.500 m² (Área 1), 2.000 m² (Área 2), 2.500 m² (Área 3), 3.000 m² (Área 4) e 3.500 m² (Área 5), respectivamente. Como dado de entrada no programa netuno 4 (Tabela 8), optou-se por 75% de substituição da demanda de água potável por água pluvial. Após as simulações, verificou-se (Figura 33), que para as áreas de coleta, a substituição variou entre 36,01% a 47,71%, o que indica que a área de coleta deve ser maior que 3.500 m². Por outro lado, a análise de um sistema de coleta deve ainda abranger o uso da água armazenada e ainda períodos de estiagem. Neste caso, optou-se por manter as áreas avaliadas, uma vez que se prevê ponto de água de abastecimento da rede pública.

A Figura 34 mostra a diferença entre os potenciais de atendimento pluvial para cinco áreas em função do volume do reservatório que representa a variação percentual da eficiência do atendimento das demandas por água não potável entre as áreas, calculada por metro cúbico de volume de armazenamento.

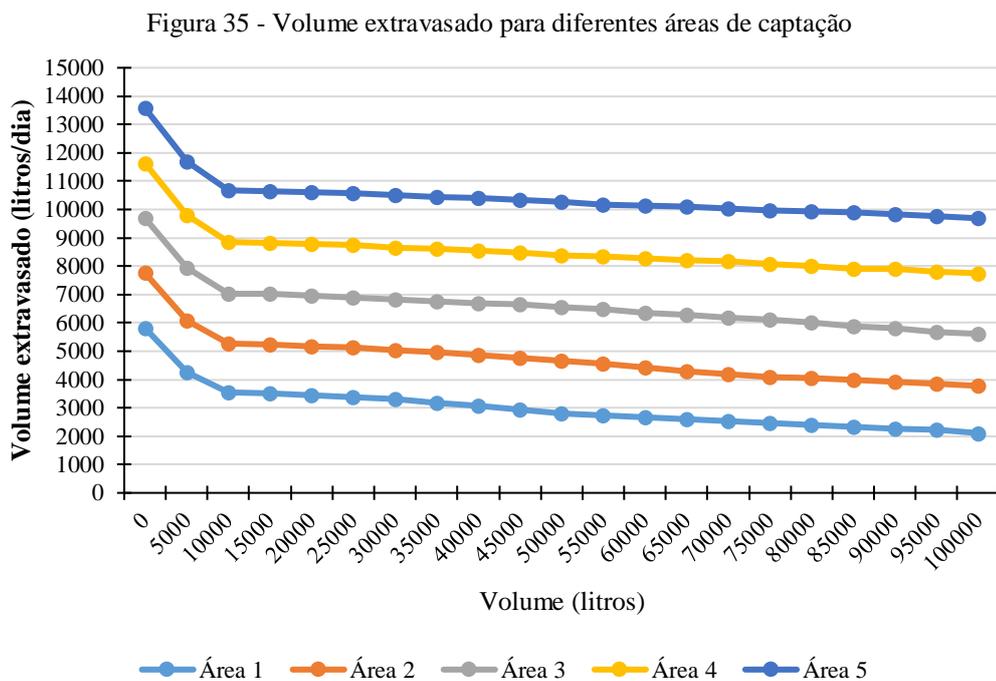


Por meio da Figura 34, observou-se uma queda acentuada até a partir de volumes superiores a 10.000 litros. Após, a diferença entre as áreas sofre uma redução gradual,

mantendo-se inferior a 1%/m³ a partir de 20.000 litros, indicando que para volumes de reservatórios mais elevados, a variação no potencial de atendimento entre as áreas é pequena.

Para o volume de 40.000 litros escolhido, as diferenças nos potenciais de atendimento de água pluvial são de 0,37%, 0,46%, 0,52%, 0,54% e 0,56% para as áreas de 1.500 m², 2.000 m², 2.500 m², 3.000 m² e 3.500 m², respectivamente.

A Figura 35 mostra o volume de água extravasada (litros/dia) em função do volume de armazenamento (litros) para as cinco áreas. Observou-se uma redução acentuada no volume de extravasamento a partir de 10.000 litros, e para volumes crescentes, ocorreu uma estabilização gradual. Áreas com maior volume de extravasamento, como a Área 5, indicam uma menor eficiência de armazenamento inicial, enquanto áreas com menor extravasamento mostram uma capacidade de retenção de água pluvial mais efetiva conforme o volume do reservatório aumenta.



A importância de análise desse parâmetro está relacionada à minimização de desperdícios de água pluvial. Um alto volume de extravasamento significa que a água captada não está sendo plenamente utilizada e acaba sendo desperdiçada. Assim, ajustar a capacidade do reservatório para reduzir o extravasamento pode aumentar a eficiência do sistema de captação de água pluvial, maximizando o aproveitamento da água e contribuindo para a sustentabilidade hídrica. Ainda, que a área de coleta pode ser menor e a pluviosidade da região

é elevada. Por outro lado, o cálculo do volume de reservatório levou em conta, inicialmente o aproveitamento para banheiros, conforme o programa Netuno 4. No caso de volume extravasado e, a água coletada pode ser também aproveitada para lavagem de calçadas e rega de jardins, uma vez que a área de estudo está localizada em um calçadão e praça arborizada.

Para o volume de 40.000 litros, os volumes extravasados são de 3.081,84 L, 4.863,91 L, 6.681,42 L, 8.539,65 L e 10.394,03 L para as áreas de 1.500 m², 2.000 m², 2.500 m², 3.000 m² e 3.500 m², respectivamente.

4.4 BANHEIROS

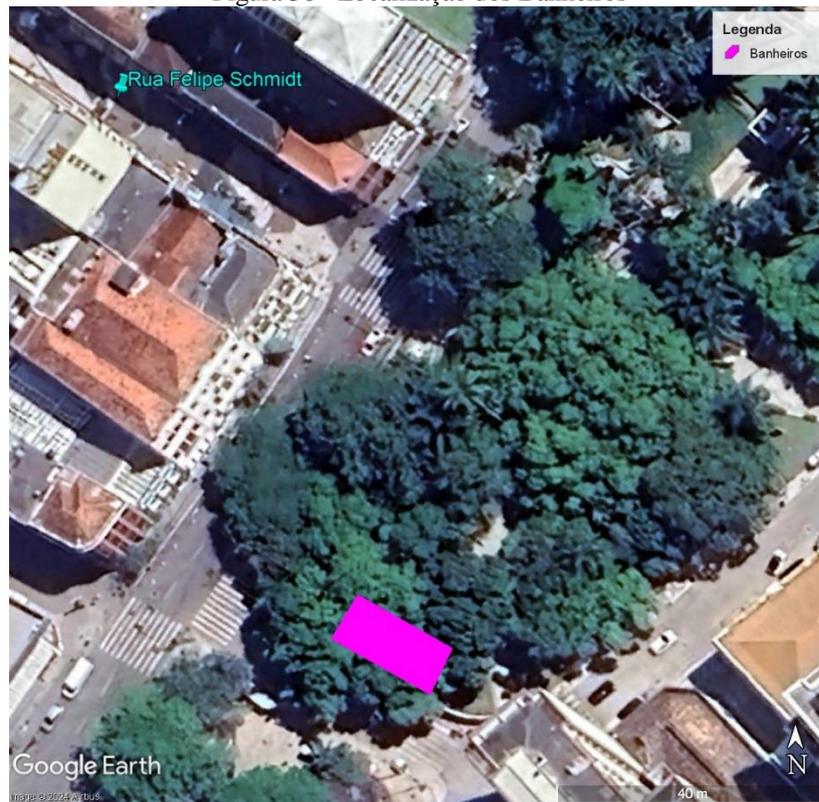
Para este estudo, foi realizada uma estimativa da quantidade ideal de banheiros para a área de análise. A estimativa baseou-se na proporção de um banheiro para cada 100 usuários, considerando a menor frequência e simultaneidade de uso em comparação a eventos públicos, onde se adota a relação de um banheiro para cada 50 pessoas devido ao maior fluxo e uso intenso. Dessa forma, com base no público diário estimado de 600 pessoas, foi definida a instalação de 6 banheiros autolimpantes, cada um com um para uso masculino e um para uso feminino. Na Figura 36 é mostrado o local sugerido para implantação dos banheiros, numa área anexa à praça.

Considerando ser o banheiro autolimpante como uma alternativa viável, foi feito contato com uma empresa brasileira que comercializa este tipo de banheiro para obtenção de informações técnicas sobre o método de abastecimento de água desses equipamentos. A empresa informou que o abastecimento é realizado diretamente por um ponto de água previamente instalado pela companhia de águas da cidade.

Assim, neste estudo, propôs-se que o abastecimento dos banheiros com a água pluvial coletada seja feito diretamente do reservatório inferior por meio de bombeamento e ligações por meio de tubos de drenagem desde o reservatório até o local dos banheiros.

A água coletada do pavimento permeável será utilizada para descarga de bacias sanitárias, mictórios e limpeza dos banheiros. A água proveniente da companhia de águas de Florianópolis abastecerá os lavatórios. No entanto, há de se considerar a possibilidade de escassez de chuva em determinadas épocas e conseqüentemente, o esvaziamento do reservatório. Neste caso, considerou-se a necessidade de manter uma ligação, ou seja, um ponto de água direto da rede pública para descarga e limpeza.

Figura 36 - Localização dos Banheiros



Fonte: Adaptado de Google Earth® (2024).

Além disso, considerou-se a implantação e instalação de pontos de torneiras específicos, cuja água coletada será usada para limpeza do calçamento e irrigação das áreas verdes da praça e canteiros. Propõe-se pontos na Praça XV de novembro e no calçamento, de uso exclusivo da prefeitura municipal.

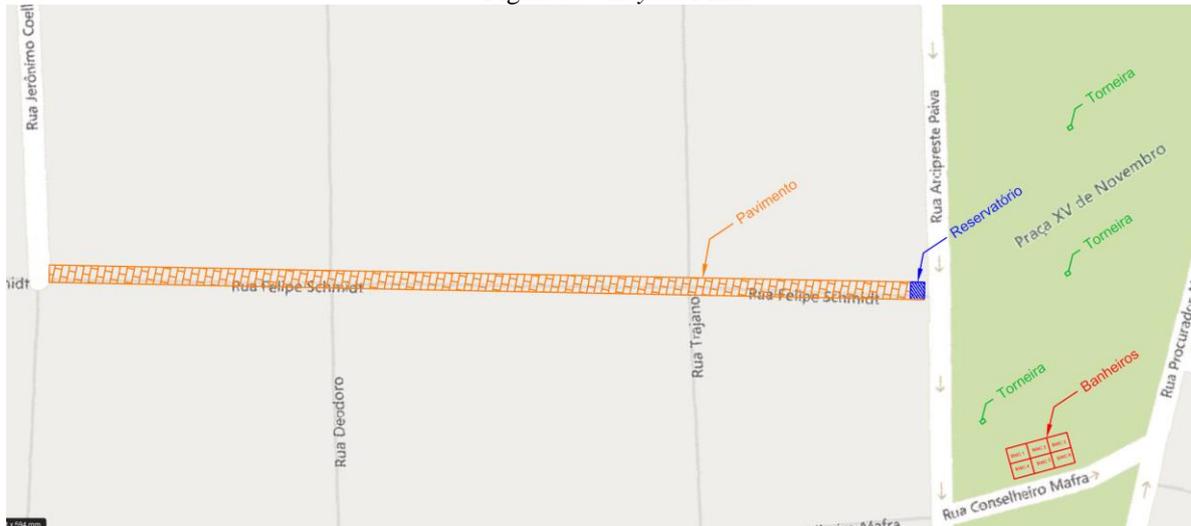
Em suma, como resultado deste estudo, verificou-se que, com o volume do reservatório de 40.000 litros, o potencial de economia de água potável para a área 3 (2.500 m²) foi significativo e muito próximo ao obtido para a área 4 (3.000 m²), com uma diferença de apenas 2,15%. Assim, optou-se pela área de 2.500 m² como a solução mais eficiente e economicamente viável. A Tabela 9 apresenta um resumo das escolhas selecionadas neste estudo, incluindo o tipo de pavimento, a área de coleta e o volume do reservatório selecionados.

Tabela 9 - Escolhas para o estudo

Características	Escolhas
Modelo de pavimento	Modelo 2 (Ghisi <i>et al.</i> (2020))
Volume do Reservatório	40.000 Litros
Área de Coleta	2.500 m ²
Número de Banheiros	6 Banheiros Autolimpantes*
*Cada banheiro autolimpante tem 1 cabine feminina e 1 masculina	

Na Figura 37 é apresentado um *layout* da proposta do estudo, ilustrando a localização dos banheiros, a áreas de coleta de água escolhida, a posição do reservatório e das torneiras para irrigação. Além do uso de água coletada a partir do pavimento, indicou-se pontos de torneiras para limpeza dos calçadões e rega de jardins.

Figura 37 - *Layout* Final



4.4.1 Outros locais para aplicação

Na região da Grande Florianópolis, identificam-se diversas áreas de lazer onde a aplicação deste estudo poderia ser replicada, ampliando seu impacto e relevância. A implementação de sistemas de captação e uso de água pluvial, aliada à instalação de banheiros autolimpantes com abastecimento sustentável, contribuiria para a eficiência hídrica e para a sustentabilidade desses espaços públicos. As Figura 38 e Figura 40, são apresentadas algumas dessas áreas potenciais, selecionadas por características como a infraestrutura existente, sendo, o Parque da Luz, Parque de Coqueiros e Beira Mar de São José, respectivamente.

Figura 38 - Parque da Luz



Figura 39 - Parque de Coqueiros



Figura 40 - Beira Mar de São José



4.5 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

A água coletada de pavimentos permeáveis contém contaminantes e concentrações de poluentes. O estudo de Ghisi *et al.* (2020), no qual foi baseada a estrutura mostrou que as camadas utilizadas do pavimento são capazes de retenção e redução da concentração de poluentes. Assim como a água coletada de telhados, a do pavimento também necessita de tratamento prévio, como por exemplo, cloração. Neste estudo não foram realizadas análises da qualidade de água de escoamento da região, sendo considerada uma limitação do estudo.

Foi proposto um *layout* do sistema de coleta, no entanto não foi realizado o dimensionamento hidráulico e hidrossanitário. Neste caso, não foram dimensionadas as tubulações e a capacidade da motobomba. Ainda, o estudo não abrangeu a análise financeira do sistema de captação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo analisou a viabilidade e a aplicação de pavimentos permeáveis no centro de Florianópolis, com o objetivo de captar e reutilizar a água da chuva para fins não potáveis em banheiros públicos e outras atividades como limpeza das áreas de calçadas e rega de jardins e canteiros da região. Para o dimensionamento do pavimento, foram aplicados dois modelos distintos. O modelo 1 foi utilizado exclusivamente para o dimensionamento estrutural, de modo a garantir a estabilidade e a durabilidade do pavimento em função das cargas projetadas. Com base nas características de tráfego leve e no índice capacidade de suporte do subleito (CBR de 7%), as espessuras das camadas foram estabelecidas como: 6 cm para a camada de revestimento com blocos de concreto intertravado permeáveis, 5 cm para a camada de assentamento em areia, 17 cm para a base granular, e 10 cm para a sub-base. Essas espessuras foram adequadas para suportar as condições de uso e garantir o desempenho estrutural do pavimento na área de estudo.

Posteriormente, o modelo 2 foi aplicado para o dimensionamento hidráulico, avaliando a capacidade do pavimento de infiltrar e armazenar água da chuva. A camada de armazenamento temporário de água foi dimensionada com uma espessura de 27 cm. Essa configuração permite que o sistema capte e armazene volumes significativos de água, assegurando que a demanda hídrica dos banheiros públicos possa ser suprida com água não potável durante grande parte do ano.

Foram realizadas simulações no programa Netuno 4 para estabelecimento do volume para o reservatório necessário, que resultou em 40.000 litros, proporcionando um potencial de economia de água potável de até 47,71%, dependendo da área de captação. Esse volume permite atender aproximadamente 600 usuários diários, substituindo 75% do consumo de água potável em descargas sanitárias e limpeza de banheiros públicos. Assim, a adoção desse sistema não apenas promove a economia de água potável, mas também torna a operação dos banheiros mais sustentável e eficiente.

Os resultados mostraram que a implantação de pavimentos permeáveis no centro de Florianópolis pode trazer benefícios significativos para a gestão sustentável da água, ao reduzir a dependência de água potável e mitigar problemas de escoamento urbano. Esse sistema contribui para uma abordagem mais sustentável e eficaz de manejo hídrico em áreas urbanas, alinhando-se com práticas de desenvolvimento sustentável e gerando impactos positivos para a gestão hídrica na cidade.

Por fim, esse trabalho mostra a importância de investimentos em tecnologias de infraestrutura verde e soluções inovadoras para gestão hídrica urbana. A integração de sistemas de pavimentação permeável e reuso de água pluvial pode servir como modelo para outras áreas urbanas que enfrentam desafios semelhantes, contribuindo para uma abordagem mais resiliente e sustentável de gerenciamento de recursos hídricos.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, recomenda-se:

- Avaliar a qualidade da água coletada em pavimentos permeáveis e sua adequação para diferentes usos não potáveis, como irrigação de jardins, lavagem de calçadas e até sistemas de resfriamento;
- Realizar experimentos em uma instalação piloto no centro de Florianópolis para monitorar o desempenho real do pavimento ao longo do tempo, incluindo a capacidade de infiltração, taxa de colmatção, e necessidades de manutenção;
- Estudo de viabilidade econômica para o sistema;
- Avaliação de áreas de maiores dimensões para atingimento de 100% de uso de água coletada a partir de pavimento permeável;
- Avaliar como o sistema de pavimentos permeáveis e reservatórios se comporta durante períodos de seca prolongada, considerando a resiliência hídrica do sistema e sua capacidade de armazenamento;
- Realizar o dimensionamento hidráulico e hidrossanitário, além do dimensionamento da motobomba.

REFERÊNCIAS

- ABCP, A. B. DE C. P. **Ficha técnica de sistematização do projeto realização: Programa soluções para cidades**, 2013.
- ABCP, A. B. DE C. P. **Melhores Práticas Pavimento Intertravado Permeável**, 2011.
- ABES, A. BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Reuso de água nas crises hídricas e oportunidades no Brasil**. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis**. Rio de Janeiro, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto**. Rio de Janeiro, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9781: Peças de concreto para pavimentação**. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160: Sistemas prediais de esgoto sanitário - Projeto e execução**. Rio de Janeiro, 1999.
- ABREU, R. S. A. DE; MIRANDA, T. V. **O uso do pavimento permeável como medida auxiliar na drenagem das cidades**. 2020.
- ACIOLI, L. A. **Estudo experimental de pavimentos permeáveis para o controle do escoamento superficial na fonte**. 2005.
- ANA; FIESP; SINDUSCON-SP (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS; FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; SÍNDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL DO ESTADO DE SÃO PAULO). **Conservação e Reuso da água em Edificações**. Prol Editora Gráfica. São Paulo, 2005.
- ARAÚJO, P. R. DE; TUCCI, C. E. M.; GOLDENFUM, J. A. **Avaliação da eficiência dos pavimentos permeáveis na redução de escoamento superficial**. 2000.
- BACK, Á. J. **Chuvvas intensas e chuva para dimensionamento de estruturas de drenagem superficial para o Estado de Santa Catarina**. Epagri, Florianópolis, 2013.
- BACK, Á. J.; HENN, A.; OLIVEIRA, J. L. R. **Heavy rainfall equations for Santa Catarina, Brazil**. 2011.
- BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2011.

- BARROS, E. N. DE S.; BOAVENTURA, S. M. **Estudo experimental do desempenho de pavimentos permeáveis como alternativa de redução do escoamento superficial em áreas urbanas.** 2020.
- BEUX, F. C.; OTTONI, A. B. **Métodos alternativos de drenagem a partir da retenção e infiltração das águas de chuva no solo, visando a redução das enchentes urbanas.** 2015.
- BISCHOFF, W. **Relatório da ONU aponta risco de crise global por escassez de água.** 2023.
- BLOCASA PRÉ-MOLDADOS. **Pisos intertravados sextavados.** Disponível em: <https://www.blocasapre.com.br/pisos-intertravados-sextavado/>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- BONA, B. D. O.; MARTINS, G. M.; NETO, A. P. A. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificação multifamiliar na cidade de Carazinho (RS).** 2014.
- BOTELHO, ANDRÉ NEIS. **Estimativa dos usos finais de água potável na Universidade Federal de Santa Catarina.** 2008.
- CÂMARA MUNICIPAL DE FLORIANÓPOLIS. **Requerimento N.º 00279/2024.** 2024.
- CEASA, C. DE A. DE G. **Relatório Projeto de Drenagem/Infiltração.** 2019.
- CIRIA - Construction industry research and information association. **The SuDS manual.** 2015.
- CLEAN SE. **Banheiros Autolimpantes.** 2024.
- CNUMAD (CONFERÊNCIA DAS NAÇÕES UNIDAS SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO). **Proteção da qualidade e do abastecimento dos recursos hídricos: Aplicação de critérios integrados no desenvolvimento, manejo e uso dos recursos hídricos.** Rio de Janeiro, 1992.
- COSTA, D. S. **Parâmetros técnicos na escolha de pavimentos permeáveis: uso da técnica de Apoio Multicritério à Decisão no contexto de uma proposta de quadra sustentável em Palmas – TO.** 2020.
- CULLETON, Billy. **Os sete banheiros públicos do Centro – Apenas dois são gratuitos.** 2019. Disponível em: <https://floripacentro.com.br/os-sete-banheiros-publicos-do-centro-apenas-dois-sao-gratuitos/>
- EISENBERG, B.; LINDOW, K. C.; SMITH, D. R. **Permeable Pavements.** Reston, VA: American Society of Civil Engineers. 2015.
- FERGUSON, B. K. **Porous Pavements:** CRC Press, Boca Raton, FL., 2005.

- FOGATTI, O. DE F.; MILLAN, R. N.; MARTINS, E. DA S. **Prospecção de tecnologias sustentáveis de drenagem de águas pluviais como insumo para proposição de mudanças no Plano Diretor do município de Frutal, Minas Gerais.** 2023.
- FULLER, Naima *et al.* **Understanding Ada Regulations: How Many Ada Bathrooms Are Required For Public Spaces.** 2023.
- GARCIA, E. S. H. **Avaliação da progressão da colmatação de peças pré-moldadas de concreto permeável por meio de tomografia computadorizada.** 2022.
- GARRIDO NETO, P. DE S.; VERÓL, A. P.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. **Sistemas de drenagem urbana sustentáveis no mundo e no Brasil.** 2019.
- GHISI, E.; BELOTTO, T.; THIVES, L. P. **The use of permeable interlocking concrete pavement to filter stormwater for non-potable uses in buildings.** 2020.
- GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4.** Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.
- GHISI, E.; FERREIRA, D. F. **Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater and Greywater in a Multi-storey Residential Building in Southern Brazil. Building and Environment,** 2006.
- HAMMES, G. **Aproveitamento de água pluvial captada a partir de pavimentos permeáveis para uso não potável.** 2015.
- HAMMES, G.; THIVES, L. P. **Porous Asphalt Mixture with Improved Fatigue Resistance and Stormwater Pollutant Reduction in Urban Road Pavement.** 2023.
- HANSEN, K. **Porous asphalt is an environmentally friendly tool for stormwater management.** 2008.
- HIGASHI, R. A. DOS R. **Metodologia de uso e ocupação dos solos de cidades costeiras brasileiras através de SIG com base no comportamento geotécnico e ambiental.** 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Florianópolis: panorama.** Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados pluviométricos.** Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>.
- INSTITUTO TRATA BRASIL. **Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): Desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil.** 2024

- ITB, I. T. B. **Estudo de perdas de água de 2024 (SNIS, 2022): Desafios na eficiência do saneamento básico no Brasil.** 2024.
- JABÔR, M. A. **Drenagem de Rodovias.** 2022.
- JABUR, A. S.; BENETTI, H. P.; SILIPRANDI, E. M. **Aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis.** 2011.
- JÚNIOR, L. L. DA C.; BARBASSA, A. P. **Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas.** 2006.
- JUNIOR, R. B. D. S.; BAESSE, T. D. A.; JUNIOR, J. C. A. **Utilização de pavimentos permeáveis para redução do escoamento superficial provenientes das águas pluviais.** 2017.
- LEIS ESTADUAIS. **Lei Ordinária Nº 11221, de 17 de novembro de 1999.** 2002. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/sc/lei-ordinaria-n-11221-1999-santa-catarina-estabelece-a-obrigatoriedade-para-os-municipios-de-manterem-banheiros-publicos-em-condicoes-de-uso-nas-areas-centrais-das-cidades>.
- LI, C.; LIU, M.; HU, Y.; et al. **Assessing the impact of urbanization on direct runoff using improved composite CN method in a large urban area.** 2018.
- LIMA, C. O.; BONETTI, J.. **Proposta metodológica para adequação das informações do censo demográfico do IBGE na análise da vulnerabilidade social a eventos extremos na zona costeira.** 2019.
- LONDON ASSEMBLY HEALTH COMMITTEE. **The Toilet Paper: The London Assembly Health Committee's three principles for improving public toilet provision in London Health Committee.** 2021.
- MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis-SC.** 2007.
- MAYKOT, J. K.; GHISI, E. **Assessment of a rainwater harvesting system in a multi-storey residential building in Brazil.** 2020.
- MBANASO, F. U.; CHARLESWORTH, S. M.; COUPE, S. J.; NEWMAN, A. P.; NNADI, E. O. **Reuse of materials from a Sustainable Drainage System device: Health, Safety and Environment assessment for an end-of-life Pervious Pavement Structure.** 2019.
- MBANASO, F. U.; CHARLESWORTH, S. M.; COUPE, S. J.; NEWMAN, A. P.; NNADI, E. O. **State of a sustainable drainage system at end-of-life: assessment of potential water**

pollution by leached metals from recycled pervious pavement materials when used as secondary aggregate. 2020

MENDONÇA, T. T. P. **Cidade para todos ou cidade para poucos: Discussão sobre a gestão dos banheiros públicos na perspectiva do design.** 2022.

MOREIRA, F. D.; REZENDE, S.; PASSOS, F. **Public toilets from the perspective of users: a case study in a public place.** 2022.

MOREIRA, Fernanda Deister. **Banheiros Públicos: o direito esquecido na universalização do saneamento.** Disponível em: <https://ondasbrasil.org/banheiros-publicos-o-direito-esquecido-na-universalizacao-do-saneamento/>. 2022.

MUNDO DAS PEDRAS. **Pré-moldados.** Disponível em: <https://mundodaspedrasbrasil.com.br/pre-moldados/>. Acesso em: 11 dez. 2024.

OSEKI, H. **Pavimento permeável: conceito, viabilidade e execução desta tecnologia construtiva.** 2017.

PINTO, L. H.; PINHEIRO, S. A. **Orientações Básicas para Drenagem Urbana.** 2006.

POMPÊO, C. A. **Sistemas urbanos de microdrenagem.** 2001.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Dimensionamento de pavimentos em blocos intertravados de concreto.** 2004.

REZENDE, A. T. DE. **Reuso urbano de água para fins não potáveis no Brasil.** 2016.

RIGHETTO, A. M. **Manejo de águas pluviais urbanas. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico.** 2009.

SALVADOR PRÉ-MOLDADOS. **Linha Holandês.** Disponível em: <https://salvadorpremoldados.com.br/produtos/linha-holandes/>. Acesso em: 11 dez. 2024.

SANTINI, B. N.; THIVES, L. P.; JÚNIOR, J. J. T.; ROHDE, L. **Avaliação do uso de pavimentos drenantes e coleta de água para usos não potáveis com foco na sustentabilidade.** 2024.

SANTOS, S. A. DOS. **Análise comparativa do uso de sistemas de aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas na rodoviária do plano piloto, Brasília-DF.** 2018.

SCAGLIA, Lorena *et al.* **Qual a quantidade ideal de banheiros por pessoas em seu escritório?.** 2024.

- SCARDUA, O. R. A. **Pavimento permeável como medida sustentável de aproveitamento de água pluvial para uso não potável em uma edificação na Universidade Federal do Espírito Santo.** 2021.
- SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff - A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs.** 1987.
- SHAFIQUE, M.; KIM, R.; KYUNG-HO, K. **Rainfall runoff mitigation by retrofitted permeable pavement in an urban area;** 2018.
- SHAFIQUE, M.; KIM, R.; KYUNG-HO, K. **Rainfall runoff mitigation by retrofitted permeable pavement in an urban area. Sustainability (Switzerland).** 2018.
- SIMÕES, O. G.; ZANOTELLI, J.; PILAR, R.; SCHANKOSKI, R. **Avaliação das propriedades mecânicas e de permeabilidade de peças de concreto permeável contendo resíduos de rocha ornamental.** 2023.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – Ano de Referência 2021.** Brasília: MDR, 2022. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- SOUZA, D. **Entenda por que os banheiros autolimpantes fazem tanta falta no Centro de Florianópolis.** *ND Mais*, 2024. Disponível em: <https://ndmais.com.br/infraestrutura/entenda-por-que-os-banheiros-autolimpantes-fazem-tanta-falta-no-centro-de-florianopolis/>. Acesso em: 11 dez. 2024.
- SUZUKI, C. Y.; AZEVEDO, A. M.; JÚNIOR, F. I. K. **Drenagem subsuperficial de pavimentos.** 2014.
- TESTON, A. et al. **Impact of rainwater harvesting on the drainage system: Case study of a condominium of houses in Curitiba, Southern Brazil.** 2018.
- TOMAZ, PLÍNIO. **Previsão de consumo de água.** 2000.
- TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da Drenagem Urbana.** 2001.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão da Drenagem Urbana.** 2012.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de Águas Pluviais Urbanas.** 2005.
- URBONAS, B; STAHR, P. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management.** 1993.
- VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. **Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana**

para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. 2016.

WANG, M.; SWEETAPPLE, C.; FU, G.; FARMANI, R.; BUTLER, D. A framework to support decision making in the selection of sustainable drainage system design alternatives. 2017.