BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

PEDRO ARMANDO COLLA MARTINS

BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS EM SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM ZONAS URBANAS

Porto Alegre

15 de dezembro de 2022.

PEDRO ARMANDO COLLA MARTINS

BENEFÍCIOS DA IMPLEMENTAÇÃO DE PAVIMENTOS PERMEÁVEIS EM SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEL EM ZONAS URBANAS

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado ao Centro Universitário Ritter dos Reis, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil.

Orientador: Prof. MSc. Carlos Henrique Pereira Assunção Galdino

Porto Alegre

15 de dezembro de 2022.

RESUMO

A alta taxa de crescimento populacional dos centros urbanos nas últimas décadas, quando não acompanhada de uma infraestrutura que supra esse desenvolvimento, pode gerar inúmeros transtornos para a sociedade. Métodos construtivos mais comuns como asfalto, concreto e basalto, impermeabilizam as superfícies da cidade e por consequência sobrecarregam os coletores públicos. Novas alternativas surgem com a finalidade de propor soluções para diversos sistemas que compõem a drenagem urbana, desde a coleta da água chuva até o destino final, seja ele um corpo de água ou uma estação de tratamento. O presente estudo busca analisar como que a substituição de pavimento asfáltico por blocos intertravados de concregrama beneficiam a drenagem local, propondo um sistema que compreende desde o pavimento, as camadas inferiores, drenagem subterrânea e reservatório de amortecimento, a fim de apresentar um projeto de drenagem mais completa e eficiente. Com os resultados obtidos, foi possível identificar uma redução substancial no escoamento superficial com o uso do pavimento intertravado que, por se tratar de um bairro com alta densidade populacional, resulta um alívio do volume escoado para a drenagem pública, reduzindo alagamentos e os respectivos prejuízos. Caso sistemas construtivos similares fossem amplamente implementados, tanto a população, como o governo e o meio ambiente seriam beneficiados com a redução de enchentes, sobrecargas dos coletores públicos e até mesmo deslizamentos.

Palavras-chave: Drenagem urbana, pavimento permeável, sustentabilidade.

ABSTRACT

The high population growth rate of urban centers in recent decades, when not concomitant with an infrastructure that supplies this development, can generate complex disorders for society. More common construction methods, such as asphalt, concrete and basalt, waterproof the surfaces of the city and consequently overload public collectors. New alternatives arise with the orientation of proposing solutions for various systems that make up urban drainage, from water collection to its final destination, either a body of water or a treatment plant. The present study seeks to analyze how the replacement of asphalt pavement by interlocking concrete blocks benefits local drainage, proposing a system that comprises from the pavement, the lower layers, underground drainage and damping reservoir, in order to present a more complete and efficient drainage project. With the results obtained, it was possible to identify a substantial reduction in surface runoff with the use of interlocking pavement which, as it is a neighborhood with a high population density, results in a relief of the volume drained to public drainage, reducing flooding and the respective damages. If similar constructive systems were widely implemented, both the population, the government and the environment would benefit from the reduction of floods, overloading of public collectors and even landslides.

Keyword: Urban drainage, permeable pavement, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ilustração de drenagem urbana 12
Figura 2 – Ilustração de vários mecanismos de drenagem em uma via pavimentada 12
Figura 3 – Localização do campus da Uniritter, Porto Alegre 23
Figura 4 – Estacionamento superior.....24
Figura 5 – Bocas de lobo do canteiro central 25
Figura 6 – Detalhes das bocas de lobo 26
Figura 7 – Canteiro lateral com base de grama 26
Figura 8 – Canteiro lateral com vegetação baixa 27
Figura 9 – Rachaduras leves do asfalto 27
Figura 10 – Rachadura profunda.....28
Figura 11 – Poço de observação com grelha metálica.....28
Figura 12 – Pavimento intertravado usado em estacionamento.....29
Figura 13 – Detalhamento técnico pavimento concregrama CG7 30
Figura 14 – Camadas componentes do sistema de drenagem 31
Figura 15 – Caminho do dreno principal da drenagem abaixo do pavimento 37
Figura 16 – Área de instalação do pavimento intertravado 41
Figura 17 – Proposta de drenagem em espinha de peixe.....42
Figura 18 – Localização do tanque de amortecimento.....43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados técnicos pavimento concregrama CG7 30
Tabela 2 – Equações IDF recomendadas para Porto Alegre por bairro.....33
Tabela 3 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana.....34
Tabela 4 – Valores de C de acordo com superfícies de revestimento 35

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 8
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA 8
1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA 9
1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA 9
1.3.1 Objetivo geral 9
1.3.2 Objetivos específicos 9
1.4 JUSTIFICATIVA 10
2 REVISÃO DE LITERATURA 11
2.1 DRENAGEM URBANA 11
2.1.1 Conceitos e características 11
2.1.2 Escoamento superficial 14
2.1.3 Chuva de projeto 16
2.1.4 Vazão de projeto 16
2.2 URBANIZAÇÃO 17
2.3 SUSTENTABILIDADE 18
2.4 SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS 20
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 23
3.1 ÁREA DE ESTUDO 23
3.2 MICRODRENAGEM 24
3.2.1 Microdrenagem existente 25
3.2.2 Microdrenagem proposta 29
3.2.3 Dimensionamento do reservatório de amortecimento 31
3.3 VAZÃO DE PROJETO 32
3.3.1 Tempo de concentração 32
3.3.2 Dimensionamento da chuva de projeto 32
3.3.3 Dimensionamento da vazão de projeto 34
3.3.4 Dimensionamento do dreno subterrâneo 35
3.4 BENEFÍCIOS 36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES 37
4.1 VAZAO DE PROJETO 37
4.1.1 Tempo de concentração 37
4.1.2 Dimensionamento da chuva de projeto 38

4.1.3 Dimensionamento da vazão de projeto 38
4.1.4 Dimensionamento do dreno subterrâneo 40
4.2 MICRODRENAGEM PROPOSTA 41
4.2.1 Pavimento intertravado 41
4.2.2 Microdrenagem em espinha de peixe 42
4.2.3 Reservatório de amortecimento 43
4.5 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS 44
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 46
REFERÊNCIAS 48

1 INTRODUÇÃO

Sistemas urbanos de drenagem de água são imprescindíveis para o funcionamento de qualquer cidade, pois tanto seu funcionamento quanto a sua deficiência impacta diretamente a população. Devido a sua importância, existe uma gama muito extensa de métodos construtivos que apresentam soluções variadas para cada caso específico.

Este trabalho analisa soluções de drenagem urbana com foco na sustentabilidade e que possuem implementação sem custos elevados ou técnicas construtivas excessivamente complexas. O intuito da pesquisa é apresentar soluções realistas que possuam outros tipos de benefícios para a população além de atender ao seu principal propósito que é a drenagem de águas pluviais.

Neste capítulo 1, será apresentado o problema de pesquisa que, junto com essa introdução, contextualizam o problema em si, além dos objetivos que conduzem o foco da pesquisa, a delimitação da pesquisa e a justificativa. Após isso vem o capítulo 2 chamado de revisão de literatura contendo os principais conceitos e ideias abordadas ao longo do trabalho e, em seguida, o capítulo 3, procedimentos metodológicos, que discorre sobre a caracterização da pesquisa, a coleta de dados e a forma como esses dados foram obtidos. No capítulo 4, é feita a análise de resultados, onde os dados coletados são expostos de forma clara e as suas respectivas interpretações dentro dos objetivos propostos, seguido então do capítulo 5, onde é apresentada a conclusão do trabalho a partir dessa análise, assim como sugestões para futuras pesquisas dentro da mesma área.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Das nações em desenvolvimento, o Brasil encara uma das dificuldades mais corriqueiras que é o acelerado crescimento dos centros urbanos. Entretanto, sua infraestrutura não tem mais como seguir o crescimento veloz, lesando a qualidade de vida da população.

Outrora, a drenagem urbana tinha a finalidade de retirada das águas pluviais por meio de sistemas simples e de soluções momentâneas. E, os sistemas de drenagens pluviais de hoje são projetados com alicerce no escoamento acelerado, transferindo o ponto de alagamento. Segundo Dias e Antunes (2011), deste modo, a

urbanização fixa e desordenada colabora para o regresso dos municípios do país, em razão da carência de um sistema de drenagem urbana eficaz, em condições de suportar a demanda. Inúmeras opções tornar mínimos estes efeitos, porém, diversas delas somente afastam os problemas ao contrário de resolvê-los no ponto de origem, com decorrências na extensão da bacia.

Em vista do acima exposto, este trabalho se propõe a buscar por respostas para a seguinte questão de pesquisa: Quais os benefícios da implementação de pavimentos permeáveis em sistemas de drenagem sustentável em zonas urbanas?

1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

O tema se delimita na análise da pavimentação permeável e os benefícios que ela possui, identificando os diferentes elementos de uma rede de microdrenagem e quais resultados esse pavimento permeável tem em comparação ao tradicional asfáltico impermeável.

1.3 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos do presente trabalho foram divididos em objetivo geral e objetivos específicos, os quais são apresentados a seguir.

1.3.1 Objetivo geral

Analisar como o pavimento intertravado pode beneficiar a infraestrutura urbana, elaborando uma proposta de implementação contemplado diversos elementos da microdrenagem local.

1.3.2 Objetivos específicos

a) Identificar um tipo de pavimentos permeável adequado para o estudo;
b) Estudar a viabilidade de implementação do mesmo em uma zona urbana altamente populosa;
c) Apresentar um estudo comparativo em relação ao método construtivo atual da área de estudo;

d) Demonstrar os benefícios futuros que essa infraestrutura traz ao longo do tempo para toda a sociedade.

1.4 JUSTIFICATIVA

Consciência ambiental e preocupação com o futuro do meio ambiente são temas presentes no cotidiano de cada indivíduo, com uma frequência cada vez maior, da mesma forma que, dentro da construção civil, tem-se preocupação com o custo e a eficiência em qualquer obra. A união desses fatores é algo totalmente relevante para o futuro da construção civil e para a sociedade.

Ao atrelar essa preocupação com o meio ambiente, dentro dos processos construtivos, ter-se-ão alternativas que levam em conta questões muito maiores do que apenas o custo da obra em si. Tendo essa projeção de longo prazo, esse custo pode se tornar bem menor quando analisado por outra perspectiva, e isso é algo bastante relevante para o futuro da construção civil.

Esses sistemas construtivos verdes para drenagem de águas pluviais não são simples alternativas construtivas, eles possuem todas as qualidades que os sistemas convencionais têm, além de um apelo estético e urbanístico muito maior. São alternativas que merecem espaço e devem sempre ser levadas em consideração na hora de optar pelo tipo de abordagem.

Ao serem analisadas as opções sustentáveis e comparadas com as convencionais, podem-se analisar as diferenças entre elas desde o custo de implementação, as técnicas construtivas empregadas, suas complexidades e os benefícios em longo prazo que trazem, por exemplo. Alternativas verdes podem nem ser cogitadas nas etapas de projeto por desconhecimento dos responsáveis. Esse tipo de conhecimento deve ser difundido dentro da construção civil permeando todas as suas áreas. Existem soluções de infraestrutura verde para praticamente todos os setores de obras existentes, mesmo que com impactos diferentes.

Essa análise pode trazer esses benefícios à tona e pode auxiliar nessa difusão de conhecimento para que sua empregabilidade seja cada vez maior. Com o passar do tempo, soluções verdes podem se tornar o novo padrão e seus benefícios serão potencializados, principalmente no longo prazo.

Este contexto justifica o tema do presente estudo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Este embasamento teórico reúne a drenagem urbana, abarcando conceitos e características e o escoamento superficial; a urbanização; a sustentabilidade; e os sistemas de drenagens sustentáveis.

2.1 DRENAGEM URBANA

Nesta divisão, reporta-se a conceitos e características da drenagem urbana, bem como ao escoamento superficial.

2.1.1 Conceitos e características

Sistemas de drenagem podem ser definidos como “estruturas instaladas em um determinado local com o intuito de reter, tratar e transpor águas pluviais” (ALMEIDA, 2020, p. 6). O autor explica que águas pluviais fazem parte do ciclo hídrico, sendo esse um processo natural pelo qual a água passa e fundamental para o funcionamento do meio ambiente, tanto da fauna quanto da flora. Na natureza, essa água precipitada corre um curso livre ao longo da superfície até encontrar outro corpo hídrico ou permeia essa superfície até um lençol freático, por exemplo. A partir do momento que um terreno é urbanizado, a água deixa de correr o seu curso livre e passa a ser direcionada por estruturas que alteram seu caminho e direcionam-na possivelmente para outro fim.

Na Figura 1, pode-se observar um exemplo de drenagem de águas pluviais em uma rua pavimentada. A água é forçada para os cantos da via, captada por boca de lobo e, através de um tubo de ligação, ela é transladada para um tubo principal que transporta um grande volume de água para o destino. Essa calha formada pela rua passa a ser o novo caminho natural de escoamento da água pluvial urbana, conforme Botelho (2018, p. 29).

Figura 1 – Ilustração de drenagem urbana

Fonte: Botelho (2018, p. 29)

A Figura 2 serve para ilustrar vários mecanismos em funcionamento, quando ocorre chuva em uma via pavimentada. Pode-se ver a inclinação do asfalto direcionando a água para as laterais da pista, o rebaixo da via evitando que a água ocupe o passeio, a boca de lobo escoando essa água e direcionando para o tubo principal da drenagem.

Figura 2 – Ilustração de vários mecanismos de drenagem em uma via pavimentada

Fonte: Botelho (2018)

As águas captadas pelos sistemas de drenagem podem ter outro sentido, além de evitar que um ponto específico da cidade sofra uma sobrecarga. Dentro dessa perspectiva de ciclo hídrico, existe uma preocupação não só com o emprego final dessa água captada, mas também com a “minimização dos impactos gerados pela ação antrópica, relacionada a eventos hídricos críticos (enchentes e seca)” (ALMEIDA, 2020, p. 7). O autor destaca que um dos principais problemas oriundos

da má execução de projetos hidráulicos e hidrológicos é a poluição dessas águas pluviais, pois a urbanização pode acarretar a mistura de poluentes indesejados nas águas durante seu escoamento.

Pompêo (2000, p. 15) igualmente aponta o “agravamento de problemas de poluição, contaminação de solos e águas, comprometimento irreversível de lençóis subterrâneos e proliferação de vetores” como consequências de uma má gestão pública de saneamento e preocupação com o meio ambiente em países de terceiro mundo.

Entre todos os autores, pode-se observar essa preocupação com a gestão pública de infraestrutura em saneamento e que a falta de planejamento e investimento inicial promove problemas muito maiores no futuro. O próprio Pompêo (2000, p. 15) reforça em sua pesquisa que as medidas tomadas sobre assuntos de saneamento e tratamento de água e esgoto “[...] são emergenciais, esporádicas e quase sempre definidas após a ocorrência de desastres”.

Botelho (2018) discorre sobre a importância de ter uma infraestrutura de saneamento bem projetada, a fim de evitar a mistura de água pluvial com esgoto. É esperado que existissem despejos industriais e ligações clandestinas, por exemplo, mas uma rede bem dimensionada e projetada reduz esse risco. O autor ainda fala sobre a diferença de esgoto para águas pluviais, no sentido de abrangência, transporte e despejo. No caso do esgoto (águas negras), a rede deve estar presente em todas as ruas da cidade, captar todo resíduo gerado e transportá-lo até a estação de tratamento desejada ou em um rio afastado da cidade geradora. No caso do sistema pluvial, ele precisa estar presente em cerca de 20% das ruas apenas.

Para Almeida (2020, p. 7), os sistemas de abastecimento de água, drenagem pluvial, esgotamento sanitário e coleta de lixo estão diretamente relacionados, sendo sistemas “[...] complementares e dependentes uns dos outros, pois o mau funcionamento de um pode gerar a ineficácia do outro”. Almeida (2020, p. 7) concorda com Botelho (2018) no que diz respeito à necessidade de uma rede bem executada respeitando “critérios de projeto, operação e manutenção em que sejam disponibilizados os dados físicos da bacia, hidráulicos, hidrológicos de uso e ocupação da área em estudo”.

Ambos os autores enfatizam a necessidade de uma rede de drenagem bem dimensionada e projetada. Além disso, os próprios fatores de urbanização exacerbados potencializam as insuficiências de uma falta de prioridade nesse setor.

Como colocado anteriormente, isso pode acarretar problemas no futuro se não forem tomadas as devidas providências antes que a demanda ocorra.

2.1.2 Escoamento superficial

Uma das maiores divisões de atuação dentro da esfera da Engenharia Civil é o atendimento aos serviços referentes ao saneamento básico. Em conformidade com a Lei nº 11.445/2007, o saneamento básico é o conjugado de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de: a) abastecimento de água potável; b) esgotamento sanitário; c) limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; d) drenagem e manejo das águas pluviais urbanas (BRASIL, 2007).

Inerente ao manejo das águas pluviais urbanas está, em maior parcela, a obrigação alistada ao tratamento e pesquisas sobre o escoamento superficial, originado pelas distinções urbanísticas de um município (PINTO et al., 2011).

A fração do ciclo hidrológico que analisa o deslocamento da água na superfície terrestre se confere ao escoamento superficial, essa avaliação aprecia a movimentação, desde a menor parte da água vinda da precipitação sobre um solo saturado ou impermeável, que por seu turno escoa pela sua superfície causando as enxurradas, córregos, lagos, rios e ribeirões (PINTO et al., 2011).

Junto com as fundamentais grandezas características do escoamento superficial, que fazem jus a serem enfatizadas, conforme Garcez e Alvarez (1988), encontram-se: nível de água, velocidade, vazão e declividade de nível de água.

Nível de água representa a altura que alcança a água numa divisão sobre uma referência. Pode se reportar a valores imediatos ou à média de intervalos (dia, mês, ano); velocidade é a afinidade entre o espaço percorrido pela partícula líquida e o período de andamento. Distinguem-se velocidades média, superficial e pontual (medida preferencialmente em m/s); vazão é a relação entre o volume que escoa e o tempo percorrido no processo de escoamento, é igual ao produto da velocidade média pela área da seção (mede-se em m^3/s); e declividade da linha de água é a relação entre a diferença de cota entre dois pontos da superfície líquida e a distância entre eles (podendo ser em m/m ou cm/km) (GARCEZ; ALVAREZ, 1988).

Segundo Tucci, Porto e Barros (2015, p. 37), as medidas de controle do escoamento podem ser classificadas conforme sua ação na bacia em:

- Distribuída ou na fonte: é a espécie de controle que age sobre o lote, praças e passeios;
- Na microdrenagem: controle que atua sobre o hidrograma resultante de alguns lotes;
- Na macrodrenagem: é o controle sobre os riachos urbanos essenciais.

Ainda, é viável organizar as medidas de controle alicerçado em sua influência sobre o hidrograma, em cada uma das partes da bacia já citadas, assim: infiltração e percolação, armazenamento, aumento da eficiência do escoamento e diques e estações de bombeamento (TUCCI; PORTO; BARROS, 2015).

Infiltração e percolação: criando cavidades que beneficiem a infiltração e a percolação da água, usando o armazenamento e fluxo subterrâneo para desacelerar o escoamento; armazenamento: através de reservatórios que têm como distinção central a retenção do volume de escoamento superficial, reduzindo seu pico e difundindo a vazão no tempo; acréscimo da eficácia do escoamento: perante canais e condutos, que aproveitados de forma conjunta com reservatórios ficam em condições de drenar áreas inundadas, caso inverso podem somente transferir enchentes para outra região; diques e estações de bombeamento: opção de solução em áreas urbanas que não exibam espaço físico onde consigam desenvolver o enfraquecimento da inundação, esta medida propende um controle localizado de enchentes (TUCCI; PORTO; BARROS, 2015).

Na apuração do escoamento, os estudos acontecem pelo cálculo da precipitação real, igualmente denominada de chuva efetiva, que pode ser conceituada como "a parcela do total precipitado que gera o escoamento superficial" (TUCCI, 2013, p. 399).

Há inúmeras técnicas para medir a chuva efetiva no decorrer de um evento, como os métodos a seguir: Equação de Green e Ampt, Método do *Soil Conservation Service* − SCS, Fórmula de Horton, método racional e uso de *softwares* (TUCCI, 2013).

A Equação de Green e Ampt (1911) serve para estimar a infiltração e a chuva efetiva, segundo exibido por Mein e Larson (1973); O Método do SCS foi desenvolvido pelo *National Resources Conservation Center* dos EUA (antigo *Soil Conservation Service* − SCS); a Fórmula de Horton calcula a aptidão de infiltração do solo, por meio da aferição indireta do escoamento; o Método Racional é o mais expandido para o cálculo do escoamento em bacias de pequeno porte, com referências mais remotas em meados do século XIX na Inglaterra; e, para o uso de

softwares, cita-se como, por exemplo: o SWMM (*Storm Water Management Model*), o HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System*) e o IPHS1 (desenvolvimento no Brasil pelo Instituto de Pesquisas Hidráulicas da UFRGS), que foram desenvolvidos com o progresso da tecnologia, permitindo a resolução de cálculos complexos, abarcando um significativo número de variáveis (TUCCI, 2013).

2.1.3 Chuva de projeto

Para Silveira, Bemfica e Goldenfum (2000), as chuvas (ou hietogramas) de projeto representam técnicas de feição simplificada da distribuição temporal da precipitação, usadas fundamentalmente como entrada em padrões de simulação chuva-vazão, para dimensionamento de estruturas hidráulicas. Reis (2020) afirma que chuva de projeto é a chuva de distribuição temporal que causa maior escoamento superficial.

Os hietogramas de projeto podem ser obtidos de diversas formas, dependendo do método utilizado. Alguns exemplos comuns são o método de Chicago, o dos blocos alternados, hietograma triangular, o de Pilgrim e Cordery, entre outros. Eles se diferem quanto a sua empregabilidade prática, sua complexidade, o foco dos resultados ou as variáveis necessárias para seu desenvolvimento.

2.1.4 Vazão de projeto

Na hidrologia, as grandes chuvas são as que ocasionam enormes vazões em um espaço de tempo razoavelmente pequeno, e são usadas como um valor crítico em projetos de drenagem. A vazão de projeto se forma em dado essencial para o dimensionamento de estruturas hidráulicas em obras de engenharia e no alcance de cotas de alerta de inundações. (DINGMAN, 2002). Normalmente, os dados de chuvas intensas são conseguidos a partir das relações IDF, que são de modo simples a intensidade máxima de chuva que poderá acontecer com determinada duração e constância, atrelada a uma discretização (divisão em partes) temporal, geralmente de poucos minutos (ENDRENY; IMBEAH, 2009).

Para cálculo de vazão de projeto há inúmeras técnicas disponíveis. Cada método se alicerça em uma lista de parâmetros que propendem representar a vazão

de projeto de um espaço de drenagem. Há metodologias mais simples, em que a vazão é medida com fundamento em dados facilmente disponíveis, e ainda os cálculos são feitos com facilidade, mas que podem levar a erros nas avaliações. De outro ângulo, existem métodos mais complicados, que podem trazer resultados mais precisos, mas que solicitam mais informações e esforço computacional para o alcance dessas estimativas (SCHLICKMANN; BACK, 2016).

2.2 URBANIZAÇÃO

A urbanização pode ser definida como a ação pela qual a população urbana cresce em dimensão maior que a população rural. Representa um fenômeno de agrupamento urbano e decorrente crescimento e desenvolvimento dos municípios. Uma coletividade é entendida como urbanizada quando a população urbana excede 50% (BELLEI, 2001).

É certo que a urbanização ocasiona desenvolvimento e progresso, mas, também, dá origem a grandes dificuldades. Gera a desorganização social, com deficiência de domicílio, de estradas, de saneamento básico e de desemprego. Altera o aproveitamento do solo e muda a paisagem urbana (BELLEI, 2001).

Em um universo sempre mais urbanizado, aonde o acréscimo da população vem se sobressaindo em um panorama exponencial de crescimento e diversidade, crescem, igualmente, as restrições de infraestrutura, saneamento, distribuição de água e o acesso aos serviços básicos de saúde e para conservação da vida. Nota-se que a ação de crescimento dos municípios não é apenas desigual, porém que em cada local se acha um caminho próprio de edificação, no que se refere às dessemelhanças, a exclusão das minorias – compreende-se que as minorias estão sendo uma área recursiva nas polêmicas de hoje, sobretudo quando se expõe o eixo das desigualdades e, deste modo, as antigamente minorias ou os excludentes aparecem no local contemporâneo como maiorias (UN, 2014).

É do conhecimento de todos que crescimento e desenvolvimento são categorias de avaliação distintas, quando se reporta a temas do meio ambiente e economia, mesmo que às vezes sejam confundidas habitualmente em uma mesma vertente de apreciação. O urbano vem consistindo em um local de crescimento, desenvolvimento e contrassensos. Os assuntos econômicos são principais em referência aos temas ambientais. Isto é, sempre que for preciso eleger entre o

crescimento econômico e a preservação, conservação ou manutenção do meio ambiente, os fatores que conduzem ao crescimento econômico serão a opção evidente (ADGER et al., 2007).

Em referência a seus conceitos, considera-se que essas palavras estão tolerando comparações falhas. Essa pode ser inserida como uma das contradições acentuadas e inseparáveis quando se refere ao urbano ou do fenômeno da urbanização, porque o crescimento dos municípios não possui alinhamento ao desenvolvimento urbano e, assim, motiva o acréscimo da fragilidade, tanto em abrangência do habitat humano quanto do ambiente edificado, por decorrência reduzindo as habilidades de resiliência sociais e ecológicas (ADGER et al., 2007).

A vida urbana já foi exibida como conjunto de aspirações, sendo atrelada a graus mais altos de educação, ao ingresso de serviços de saneamento básico e a chances de emprego. Todavia, o crescimento veloz e desordenado danifica as probabilidades de um desenvolvimento sustentável dessas estruturas urbanas, gerando exclusão, inchaço urbano e inaptidão de administrar os impactos acarretados pelos agrupamentos populacionais (SMIT; WANDEL, 2006).

2.3 SUSTENTABILIDADE

A Revolução Industrial trouxe modificações, que aconteceram no ambiente natural a partir da metade do Século XIX (DIAS, 2006). Isto ocasionou certos benefícios sociais, entre eles: o conforto, o acréscimo da perspectiva de vida, o desenvolvimento dos meios de comunicação, o transporte, as novas tecnologias e a alimentação. Todavia, os meios que foram usados para harmonizar as melhorias na coletividade ainda apresentaram decorrências destruidoras, como: consumo exagerado de recursos naturais, a poluição do ar, da água e do solo. “Na segunda metade do Século XX, foram empregados mais recursos naturais na produção de bens que em toda a história anterior da humanidade” (DIAS, 2006, p. 37), e muito mais do que o planeta pode regenerar.

Ainda, podem-se enfatizar, além da revolução agrícola e industrial, as pandemias no decorrer da história humana e essas são atreladas à forma de viver no mundo. Na sociedade globalizada, a pandemia que se alastrou no ano de 2020, foi o COVID-19. Essa fez com o que todos repensassem seu modo de viver no planeta Terra (FAIVRE et al., 2017).

Na vida diária, o termo sustentabilidade é onipresente, ou seja, se encontra em todos os lugares, porém, mesmo que o termo circule fixamente, não é algo muito sólido. Isto porque não há uma conceituação mundial para a palavra sustentabilidade. Por decorrência, igualmente não há normas fixas pelas quais se possa nortear. Inúmeros indivíduos também compreendem que algo sustentável é meramente "fazer a coisa certa" (FAIVRE et al., 2017, p. 515).

Deste modo, a palavra sustentabilidade é bem diversificada, com compreensões distintas e precisa de um conceito. Antes de qualquer coisa, pode-se proferir que a sustentabilidade aponta à responsabilidade ecológica, isto é, tem-se que usar os recursos naturais disponíveis de maneira cautelosa, para que consigam ser resguardados em longo prazo e que a parte extraída da natureza pode ser recuperada de um modo natural, preservando, desta forma, o direito das próximas gerações ao usufruto de condições análogas ou melhores, em comparação com o período atual (MACHADO; PEREIRA, 2019).

Assim, entende-se que todos necessitam pensar nos efeitos de seus costumes e ações cotidianas. Enfim, precisa-se ter uma conduta que leve todos os seres vivos, não apenas indivíduos, a permanecer vivendo bem e com qualidade no amanhã.

Em 1713 é que aconteceu o aparecimento do termo sustentabilidade, onde Hans Carl von Carlowitz, um chefe de minas da Saxónia na Alemanha, estabeleceu o princípio da sustentabilidade em razão da ameaça de insuficiência de madeira (MACHADO; PEREIRA, 2019).

No decorrer do tempo, a definição de sustentabilidade se alastrou de modo constante. No denominado Relatório Brundtland das Nações Unidas, em 1987, foi afirmado que o desenvolvimento é sustentável "satisfazer as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades" (MACHADO; PEREIRA, 2019, p. 2). Este é um conceito ecológico que até agora é adequado para os mais diversos cientistas e políticos.

A palavra sustentabilidade possui muitas acepções na literatura acadêmica. A definição está alistada a algo duradouro, por estar atrelado a um tema flexível e aberto a explicações. O conceito de sustentabilidade não está unido somente ao assunto de salvar a natureza, porém, ainda, à internalização de estratégias,

adicionando, deste modo, novos recursos para permitir o crescimento econômico e a prosperidade dividida por todos (BARTER; RUSSELL, 2012).

A definição do termo sustentabilidade alude a um desenvolvimento de processos e exercícios que abarcam atitudes e possui como finalidade a melhoria da qualidade de vida humana (MACHADO; PEREIRA, 2019).

Os debates referentes à sustentabilidade apresentaram o marco com a Agenda 21, o documento final da conferência ambiental em 1992, no Rio de Janeiro. A Agenda é o primitivo tratado internacional a respeito de mudanças climáticas, firmado por 172 Estados. É um ponto de virada na política ambiental internacional e um plano comum para conseguir uma maior sustentabilidade no século XXI (HOFER, 2009).

Pode-se conceituar a sustentabilidade do seguinte modo:

> Desenvolvimento sustentável significa considerar os aspectos ambientais em pé de igualdade com os aspectos sociais e económicos. Devemos deixar aos nossos filhos e netos um tecido ecológico, social e económico intacto (FAIVRE et al., 2017, p. 510).

Segundo o PNDU – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (2015), em 2015, aconteceu outro marco com a apresentação da agenda de desenvolvimento sustentável pela Organização das Nações Unidas (ONU), nesta ficaram determinados 17 objetivos, quer dizer, um mapa com as metas a se atingir nos 15 anos posteriores. Esses Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) representam áreas de interferência indispensáveis para obter o desenvolvimento sustentável (COLGLAZIER, 2015).

Na finalidade de cumprir a Agenda 2030, novas ações e estratégias com o objetivo de melhorar e resguardar os ecossistemas e seus serviços veio a ser o núcleo de ação a ser desenvolvido, isto é, adaptação alicerçada em ecossistemas; Infraestrutura verde; diminuição de riscos de desastres baseada em ecossistemas; ou comedimentos de retenção natural de água (FAIVRE et al., 2017).

2.4 SISTEMAS DE DRENAGEM SUSTENTÁVEIS

De acordo com Righetto et al. (2017), o grande desenvolvimento da urbanização ocasionou dificuldades referentes ao escoamento das águas, como, por

exemplo, a impermeabilização do solo. Na procura de sanar esses problemas, a drenagem urbana é usada de forma suficiente para drenar as águas pluviais.

As dificuldades decorrentes da urbanização e da utilização imprópria do solo decorrem na diminuição da disposição de armazenamento natural dos escoamentos, e em razão disto exigem outros pontos para ocupar. Com a rapidez dos escoamentos, termina-se transferindo para a jusante[1] o problema de diminuição de ambientes naturais, porque, quanto menor é o período de concentração, maior será o pico de escoamento à jusante, o que gera inundações nas muitas áreas urbanas, porque a ocupação urbana quase sempre se desenvolve no sentido de jusante para montante (CANHOLI, 2014).

Gerada pela ampliação urbana, a utilização e ocupação do solo leva a inúmeras decorrências que são distintas, sobretudo, pela impermeabilização da bacia de drenagem, aumento desordenado da população e aproveitamento impróprio da capacidade de suporte do meio, o que termina degradando o meio ambiente (RIGHETTO et al., 2017). Deste modo, a existência de uma rede de drenagem é significativa, porque ela causa o bem-estar e a segurança da população (GIRÃO et al., 2017).

Pode-se definir rede de drenagem urbana como “sistema preventivo de inundações, especialmente nas áreas mais baixas das comunidades vulneráveis a alagamentos ou marginais aos cursos d’água” (MEDAU, 2018, p. 27). No país, há diversos problemas urbanos gerados pelo sistema de drenagem imprópria, sobretudo quando se reporta aos meses mais chuvosos. Estas dificuldades não são específicas das áreas periféricas do município, mas os bairros, na maior parte das situações, são os que mais sofrem, exatamente por serem menos saneados e não possuírem estruturas de micro e macrodrenagem urbana harmônicas com as precisões locais (FRAGOSO et al., 2016).

Conforme Tasca Pompêo e Finotti (2015), o desenvolvimento de um satisfatório Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU), que é o utensílio essencial da política de desenvolvimento e expansão urbana, pode “contribuir para a valorização, proteção e gestão equilibrada dos recursos naturais”, além de viabilizar a potência dos serviços unida à qualidade de vida e saúde de toda a coletividade. Mas, certas cidades vêm evidenciando ausência de conformidade entre os sistemas

[1] Jusante é o sentido da correnteza num curso de água (CANHOLI, 2014).

urbanos; que se mostram ineficazes, defasados e afastados uns dos outros. Isto ocorre mais nos municípios pequenos e isto se explica pela dificuldade na administração e no planejamento territorial. São municípios que, de forma geral, terminam se desenvolvendo de modo desordenado até alcançar a quantidade de moradores estabelecidos legalmente, para só após organizarem seu plano. Por esta razão, os sistemas de drenagem são bem impactados, destacando-se como um problema gerado pela urbanização sem planejamento.

Na Lei nº 11.445, que determina diretrizes nacionais para o saneamento básico, no art. 2º; inciso IV, está escrito “disponibilidade, em todas as áreas urbanas, de serviços de drenagem e manejo das águas pluviais, limpeza e fiscalização preventiva das respectivas redes, adequados à saúde pública e à segurança da vida e do patrimônio público e privado” (BRASIL, 2007). É significativo enfatizar que a drenagem urbana é constituída por um conjugado de sistemas como: sarjetas, bocas-de-lobo, condutos de ligação, poços de visitas, entre outros (DINIZ et al., 2016). Para uma eficácia satisfatória do sistema de drenagem, além de adequada organização estrutural urbana formada por estes dispositivos, tem-se que atentar para a visão do projeto e para seu cumprimento, porque, desse modo, a obra de drenagem irá atender às necessidades do lugar com qualidade, menos custo e maior garantia (PAULA et al., 2017).

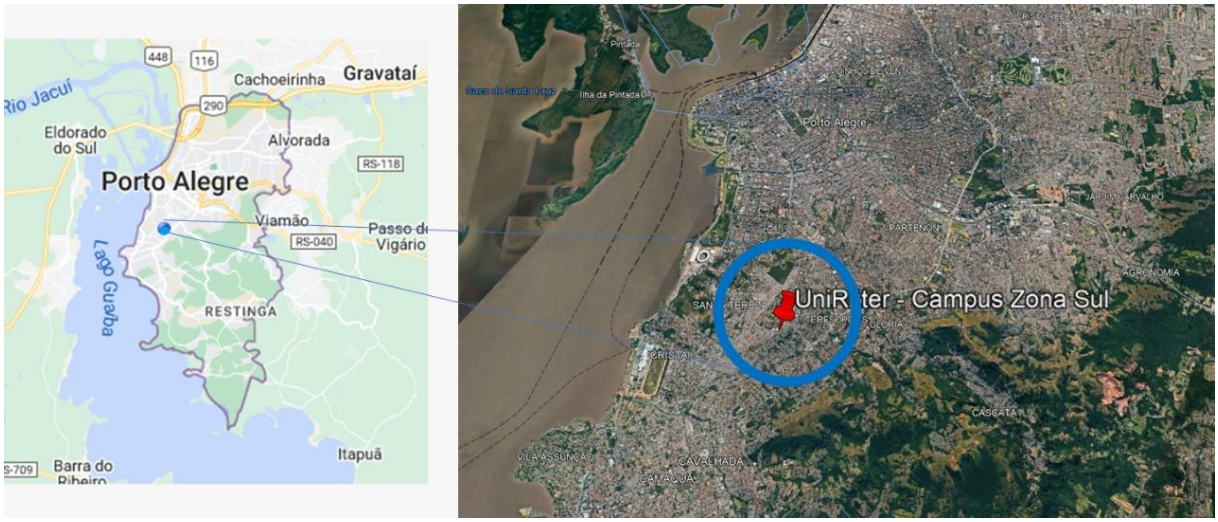
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo, são apresentadas as características da pesquisa e seu enquadramento nos conceitos metodológicos.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho será realizado em Porto Alegre, capital do Rio Grande do Sul, no estacionamento do campus zona sul da UniRitter (figura 3), localizado na Rua Orfanotrófio, 555 no bairro Teresópolis. A área de estudo analisada será o estacionamento localizado na parte superior em frente à entrada principal do campus.

Figura 3 – Localização do campus da Uniritter, Porto Alegre



Fonte: Adaptado do Google Earh. Produzida pelo autor (2022)

Este estacionamento é utilizado exclusivamente por professores e funcionários, com capacidade para 81 vagas destinadas a veículos leves, conforme ilustra a figura 4. A característica do revestimento local é asfáltica sem cobertura. O estacionamento possui uma área total aproximada de 2.029,59m² de asfalto, áreas de canteiro central e área lateral.

Figura 4 – Estacionamento superior

Fonte: Google Earh (2022)

3.2 MICRODRENAGEM

Em visita a campo foram realizadas medições e registros fotográficos da área de estudo onde foi possível observar qual o sistema de microdrenagem atual do estacionamento, como é a topografa local e qual o sentido do escoamento superficial da água. Além disso também observamos as condições atuais do pavimento asfáltico e da vegetação no seu entorno.

O método do trabalho consiste em propor a substituição da drenagem atual para um sistema mais voltado a sustentabilidade. Na definição higienista, são investidas tubulações para drenar as águas. Atualmente, os projetos de drenagem já propendem a ser mais sustentáveis, sendo projetados com, por exemplo, bacias de detenção, trincheiras de drenagem e valas de drenagem. Esta nova filosofia tem o intuito de sanar as dificuldades da drenagem na fonte dos problemas, recuperando a infiltração e evapotranspiração perdidas com a abolição da cobertura superficial e impermeabilização do território. Para viabilizar o estudo foi realizada a caracterização dos sistemas:

- Microdrenagem atual (existente);
- Microdrenagem proposta (pavimento intertravado).

3.2.1 Microdrenagem existente

As técnicas usadas para coleta e registro de dados da microdrenagem foram:

- Inspeção de campo;
- Registros fotográficos.

A microdrenagem atual do estacionamento é composta por bocas de lobo, grelha de ferro linear e quadrada, assim como canteiros nas extremidades e no centro. A direção que a água pluvial percorre no estacionamento e sempre em direção ao canteiro central, devido à inclinação do caimento e, em virtude disso, é onde se localizam toas as 6 bocas de lobo, como pode ser observado na figura 5.

Cada boca de lobo possui 2 aberturas com dimensões de 35cm de largura por 12cm de altura, totalizando 0,084m² por boca de lobo, conforme imagem 6. Elas são feitas de concreto assim como a cobertura do poço de visita, que possibilita fácil inspeção e manutenção, visando um funcionamento adequado da boca de lobo.

Figura 5 – Bocas de lobo do canteiro central

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

Figura 6 – Detalhes das bocas de lobo

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

Os canteiros possuem uma base de terra e uma cobertura de grama, no caso do canteiro central e laterais, como pode ser observado na figura 7, de brita graduada no canteiro adjacente à calçada de acesso à universidade ou com base de terra e vegetação baixa (figura 8).

Os canteiros localizam-se acima da altura do meio fio e não estão conectados ao sistema de drenagem atual, isso significa que eles não contribuem ativamente para a drenagem, apenas absorvem a água que precipita na sua superfície.

Figura 7 – Canteiro lateral com base de grama

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

Figura 8 – Canteiro lateral com vegetação baixa

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

A área do pavimento asfáltico conta com algumas pequenas rachaduras (figura 9) devido ao desgaste natural ao longo do tempo e algumas rachaduras mais severas (figura 10) causadas pelo desenvolvimento das raízes de uma árvore localizada no canteiro lateral entre o estacionamento e a calçada interna da universidade.

O pavimento conta com um poço de visita coberto por uma grelha metálica (figura 11) de 70x70cm que recebe a água coletada pelas bocas de lobo do canteiro central e conduz para o sistema de escoamento da macrodrenagem.

Figura 9 – Rachaduras leves do asfalto

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

Figura 10 – Rachadura profunda

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

Figura 11 – Poço de observação com grelha metálica

Fonte: Produzida pelo autor (2022)

3.2.2 Microdrenagem proposta

Neste trabalho, foi proposta a substituição do pavimento asfáltico atualmente utilizado no estacionamento por pavimento permeável em blocos intertravados do tipo concregrama. A principal finalidade deste estudo é analisar os benefícios que um pavimento intertravado pode proporcionar ao substituir um asfáltico com o foco na sua permeabilidade ao longo de toda área construída, atrelando o novo coeficiente de escoamento superficial com um sistema de drenagem mais eficiente, propondo sua implementação sobre uma camada de areia com sistema de drenagem em espinha de peixe.

Esse pavimento intertravado também é comercialmente chamado de pisograma e é constituído por um bloco de concreto com vazios na parte interna onde são instaladas as porções de grama, conforme ilustrado pela Figura 12. Os blocos intertravados possuem vários formatos e colorações que variam de acordo com a finalidade, opção estética ou impacto na drenagem e sua altura variar de 7cm a 10cm, dependendo do modelo ou fabricante.

Figura 12 – Pavimento intertravado usado em estacionamento

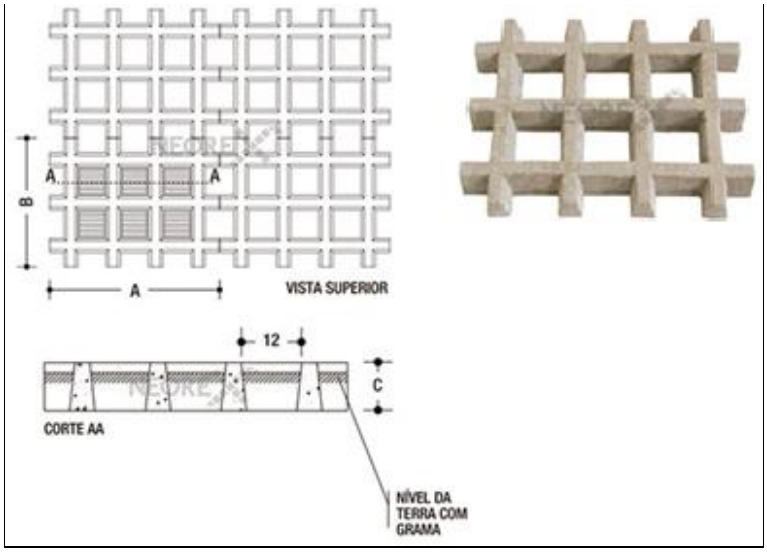
MEVO Brasil (2022)

O pavimento intertravado adotado como referência foi o modelo CG7 (Figura 13) da marca NeoRex. Ele é composto por concreto pré-moldado com resistência de

35 Mpa e dimensões de 60x45 cm de área com 7 cm de altura. A própria marca recomenda seu uso para tráfego de veículos leves (veículos de passeio) em garagens ou estacionamentos. A grama indicada para esse tipo de pavimento é do tipo Esmeralda e logo abaixo da grama é recomendada execução de uma base de areia grossa de 2cm.

O bloco CG7 apresenta uma relação de área verde em relação à área de concreto de 64%, muito mais alta que os demais modelos encontrados no mercado. Esse fator corrobora com a principal proposta deste estudo que, ao implementar esse tipo de pavimento permeável, é possível proporcionar um coeficiente de escoamento superficial menor, o que reduz o tempo que a água leva para chegar no sistema de drenagem urbano. Uma vez que o asfalto conduz a água da sua superfície com muita velocidade, em caso de incidência de chuva com alto volume precipitado, essa água pode sobrecarregar os demais componentes da microdrenagem.

Figura 13 – Detalhamento técnico pavimento concregrama CG7



MEVO Brasil (2022)

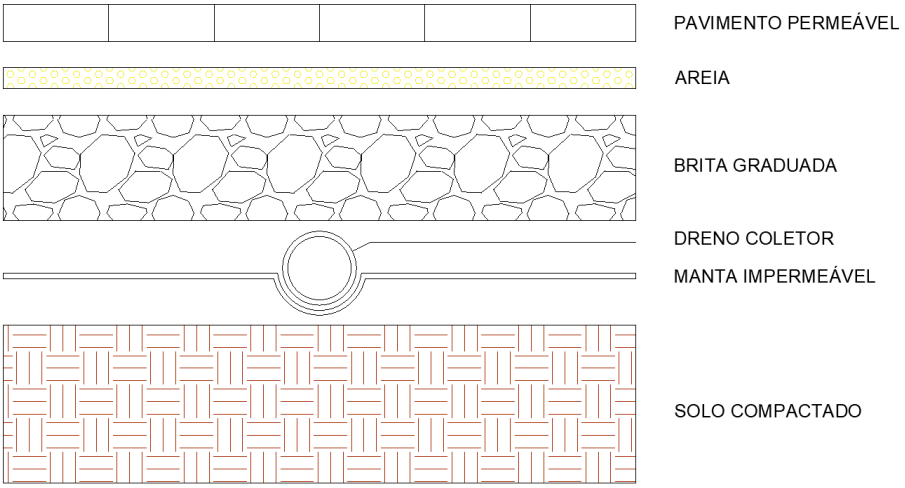
Tabela 1 – Dados técnicos pavimento concregrama CG7

Dados	Valores
Medidas	60x45x7 cm
Quantidade de peças	3,7 pç/m²
Peso	19 kg/pç
Área verde	64%

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

A execução desse pavimento sobre uma camada de base de terra já apresentaria benefícios significativos na microdrenagem, porém, foi proposto que sua instalação seja feita sobre uma camada de areia que auxilia ainda mais na percolação e no retardo do percurso da água. Além disso, abaixo dessa camada de areia, foi considerada a instalação de uma rede de tubos de Policloreto de Vinil – PVC, furados para drenagem, envoltos em uma manta geotêxtil que impede que esses furos sejam obstruídos pela areia permitindo a passagem exclusiva da água, conforme figura 14 abaixo.

Figura 14 – Camadas componentes do sistema de drenagem



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

3.2.3 Dimensionamento do reservatório de amortecimento

O estudo ainda propõe a implementação de um reservatório de amortecimento para reaproveitamento da água captada pela drenagem do pavimento. Esse reservatório teria como finalidade a redução do uso da água potável (fornecida pela concessionária local) para usos não potáveis como a manutenção do pavimento intertravado em dias de pouca precipitação e limpeza da área externa. O seu dimensionamento foi feito a partir dos dados obtidos no Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU-POA).

O PDDU-POA apresenta uma fórmula base para o cálculo do volume para áreas de drenagem de até 100 ha conforme equação 1 abaixo:

$$V = 4{,}25 * A * Ai \qquad (1)$$

Onde:

4,25: valor constante;

V: volume para armazenamento (m^3);

A: área total do empreendimento;

Ai: área que drena a precipitação e conduz para a microdrenagem (% da área total A).

3.3 VAZÃO DE PROJETO

Nesta seção são apresentadas as fórmulas e a determinação dos coeficientes usados para o desenvolvimento dos cálculos.

3.3.1 Tempo de concentração

Para calcular o tempo de concentração foi utilizada o método de Kirpich, pois é um dos métodos mais utilizados e indicado para pequenas bacias urbanas, como a analisada neste estudo.

A equação de Kirpich é:

$$Tc = 0{,}57 * \left(\frac{\mathrm{L}^3}{\mathrm{H}}\right)^{0{,}385} \quad (2)$$

onde:

Tc: Tempo de concentração (minutos);

L: Comprimento do talvegue (m);

S: Declividade longitudinal (m/m).

3.3.2 Dimensionamento da chuva de projeto

A metodologia adotada para dimensionamento da chuva de projeto será pela curva IDF (intensidade – duração – frequência) que leva em consideração a intensidade da chuva, o tempo de retorno dela e a duração dessa chuva. Todos os dados necessários, assim como as fórmulas constam no próprio Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU-POA).

Devido à variabilidade de características, o PPDU-POA apresenta quatro equações para diferentes regiões da capital, conforme tabela 2 abaixo. Como o nosso objeto de estudo encontra-se no bairro Teresópolis, será utilizada a fórmula do 8º Distrito. Além da curva IDF existem outros métodos, mas devido a empregabilidade do estudo e a qualidade dos dados da estação pluviométrica utilizada, o resultado obtido está de acordo com a proposta da pesquisa.

Tabela 2 – Equações IDF recomendadas para Porto Alegre por bairro

Nº	IDF[1]	BAIRROS
1	$i = \frac{826{,}8\ T^{0{,}143}}{(t+13{,}3)^{0{,}79}}$ Aeroporto	Arquipélago (Ilha do Lage e Ilha Grande dos Marinheiros), Farrapos, Humaitá, Anchieta, Várzea do Gravataí, Navegantes, São João, Sarandi, Rubem Berta, São Geraldo (regiões norte, nordeste e leste do bairro), Santa Maria Goretti, Jardim São Pedro, Jardim Floresta, Jardim Lindóia, São Sebastião, Higienópolis, Passo D'Areia, Cristo Redentor, Vila Ipiranga (região norte do bairro), Jardim Itu-Sabará (região norte do bairro), Boa Vista (região norte), e Passo das Pedras (região norte do bairro)
2	$i = \frac{1265{,}67\ T^{0{,}052}}{(t+12)^{\frac{0{,}88}{T^{0{,}05}}}}$ Redenção	Arquipélago (Ilha das Flores e Ilha da Pintada), Marcílio Dias, São Geraldo (regiões oeste, sul e sudeste do bairro), Floresta, Passo das Pedras (região sul do bairro), Centro, Independência, Moinhos de Vento, Auxiliadora, Praia de Belas, Cidade Baixa, Farroupilha, Bom Fim, Rio Branco, Mont Serrat (região oeste), Bela Vista (região oeste), Menino Deus, Azenha , Santana, Santa Cecília, Cristal, Santa Teresa, Medianeira, Santo Antônio, Vila Assunção, Tristeza, Camaquã, Cavalhada, Nonai (região oeste), Vila Conceição, Pedra Redonda, e Ipanema (região norte),
3	$i = \frac{1297{,}9\ T^{0{,}171}}{(t+11{,}6)^{0{,}85}}$ 8º Distrito	Vila Ipiranga (região sul do bairro), Jardim Itu-Sabará (região sul do bairro), Boa Vista (região sul), Mont Serrat (região leste), Bela Vista (região leste), Três Figueiras, Chácara das Pedras, Vila Jardim, Petrópolis, Bom Jesus, Jardim Carvalho, Partenon, Jardim Botânico, Jardim do Salso, Nonoai (região leste), **Teresópolis**, Glória, Cel. Aparício Borges, Vila João Pessoa, São José, Ipanema (região sul), Vila Nova, Cascata, Espírito Santo, Aberta dos Morros (região oeste), Belém Velho (região oeste), Guarujá, Hípica (região oeste), Serraria, e Ponta Grossa (região oeste),
4	$i = \frac{509{,}859\ T^{0{,}196}}{(t+10)^{0{,}72}}$ IPH	Vila Protásio Alves (região norte, leste e sul), Agronomia, Lomba do Pinheiro, Restinga, Chapéu do Sol, Belém Novo, Lageado, Extrema, Aberta dos Morros (região leste), Belém Velho (região leste), Hípica (região leste), Ponta Grossa (região leste), e Lami

[1] - i é a intensidade da chuva em mmh-1, T é o período de retorno em anos e t é a duração em minutos.

Fonte: PDDU DE Porto Alegre/RS (2005, p. 24)

O tempo de retorno é apresentado pelo Plano de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU-POA) como o intervalo que o evento de uma chuva leva para voltar a acontecer. O PDDU-POA apresenta intervalos desses valores para cada tipo de região onde encontra-se o empreendimento em questão.

Os valores e as zonas podem ser observados na tabela 3 abaixo:

Tabela 3 – Tempo de retorno para projetos de drenagem urbana

Sistema	Característica	Intervalo Tr (anos)	Valor Frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 - 5	2
	Comercial	2 - 5	5
	Áreas de Prédios Públicos	2 - 5	5
	Aeroporto	5 - 10	5
	Áreas Comerciais e Avenidas	5 - 10	10
Macrodrenagem		10 - 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 - 100	100*

Fonte: PDDU DE Porto Alegre/RS (2005, p. 18)

3.3.3 Dimensionamento da vazão de projeto

Para a determinação da vazão de projeto máxima para a área de estudo em questão, foi utilizado o método racional, conforme orientações do Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU-POA). A fórmula para seu equacionamento é a seguinte:

$$Q = 0{,}278 * C * I * A \quad (3)$$

Onde:

Q: vazão máxima (m^3/s);

C: coeficiente de escoamento;

I: intensidade da precipitação (mm/h);

A: área da bacia (km^2).

Os coeficientes de cada tipo de superfície, tanto o atual quanto os propostos, foram extraídos da Tabela 4, disponibilizada pelo PDDU-POA.

Tabela 4 – Valores de C de acordo com superfícies de revestimento

Superfície	C		
Pavimento:			
Asfalto	0,70	-	0,95
Concreto	0,80	-	0,95
Calçada	0,75	-	0,85
Telhado	0,75	-	0,95
Cobertura Grama/Areia			
plano (declividade 2%)	0,05	-	0,10
médio (declividade de 2% a 7%)	0,10	-	0,15
Alta (declividade 7%)	0,15	-	0,20
Grama, solo pesado:			
plano (declividade 2%)	0,13	-	0,17
médio (declividade de 2% a 7%)	0,18	-	0,22
Alta (declividade 7%)	0,25	-	0,35

Fonte: PDDU DE Porto Alegre/RS (2005, p. 87)

Os motivos para ser adotado o método racional foram: a simplicidade da sua fórmula e dos coeficientes utilizados e também por ser um método amplamente utilizado e muito aceito para equacionamento de microdrenagem.

3.3.4 Dimensionamento do dreno subterrâneo

Para o dimensionamento do diâmetro do dreno foi utilizada a fórmula de Manning que também é recomendada pelo próprio PDDU-POA. Foi dimensionado de forma majorada o dreno principal que percorre ao longo de todo pavimento permeável recebendo a água precipitada e conduz até o reservatório de amortecimento.

A equação pode ser observada abaixo:

$$\mathrm{Q} = \left(\frac{\pi * D^2}{4 * \mathrm{n}}\right) * \left(\frac{\mathrm{D}}{4}\right)^{2/3} * S^{1/2} \tag{4}$$

Visando dimensionar o diâmetro da tubulação, a fórmula foi reorganizada e a incógnita isolada resultando na equação abaixo:

$$D = 1{,}55 * \left(\frac{Q*n}{S^{1/2}}\right)^{0{,}375} \quad (5)$$

onde:

D: Diâmetro do dreno (m);

Q: vazão drenada (m^3/s);

n: coeficiente de rugosidade de Manning;

S: declividade de assentamento do tubo (m/m)

3.4 BENEFÍCIOS

Neste tópico, serão analisados os impactos da implementação do projeto, a sua viabilidade executiva, assim como os possíveis benefícios.

Com a implementação do pavimento intertravado, espera-se uma redução da sobrecarga da microdrenagem local ao se utilizar uma alternativa que possui um coeficiente de escoamento significativamente menor que o pavimento asfáltico visto que o asfalto conduz a água da sua superfície com muita velocidade, em caso de incidência de chuva com alto volume precipitado, essa água pode sobrecarregar os demais componentes da microdrenagem. Tanto a superfície de grama, como a base de areia permitem a permeabilidade da água pelo pavimento reduzindo o volume da lâmina escoada. Do mesmo modo, almeja-se utilizar essa água drenada pelo pavimento para fins não potáveis, causando um impacto positivo na macrodrenagem.

Além de todos os benefícios que influenciam diretamente a drenagem local, serão analisadas as interferências desse pavimento com diversos fatores ecológicos. Dessa forma, foram realizadas análises quanto à lâmina d’água de projeto se pode reduzir com a implementação da microdrenagem proposta.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos pelos equacionamentos citados na metodologia.

4.1 VAZAO DE PROJETO

4.1.1 Tempo de concentração

Para definição do tempo de concentração, foi utilizada a equação de Kirpich citada anteriormente. Quanto às variáveis, o valor do comprimento do talvegue utilizado no cálculo foi de 113 m, com uma declividade adotada de 1% e o caminho percorrido pelo dreno principal pode ser observado na Figura 15. O traçado do dreno foi projetado de forma a aproveitar a estrutura existente de coleta do canteiro central, dessa forma as duas drenagens possuem o mesmo destino. Com isso foi encontrado um tempo de concentração de 4,38 minutos. Entretanto, o PDDU-POA recomenda a utilização de um tempo mínimo de escoamento de 5 min a favor da segurança.

Figura 15 – Caminho do dreno principal da drenagem abaixo do pavimento

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

4.1.2 Dimensionamento da chuva de projeto

Abaixo encontra-se a equação do IDF disponibilizada pela prefeitura de Porto Alegre referente à estação pluviométrica do 8º Distrito, pois é a estação que compreende o bairro Teresópolis, onde se localiza nosso estudo de caso:

$$\mathrm{i} = \frac{1297{,}9T^{0{,}171}}{(t+11{,}6)^{0{,}85}} = 156{,}92 \qquad (6)$$

onde:

T (ou Tr): Tempo de retorno, período, em anos, da precipitação de projeto;

t: duração da chuva em horas;

i: intensidade da chuva (mmh-1).

O tempo de retorno adotado para desenvolvimento dos cálculos foi de cinco anos, pois é o valor recomendado pelo Plano de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PDDU-POA) para microdrenagem em zonas residenciais. Em benefício da segurança, a duração da chuva adotada foi de 5 min, visto que é um bairro residencial e o local de estudo é uma instituição de ensino. Dessa forma, todos os coeficientes para o cálculo do IDF estão dentro da norma simulando um cenário pessimista. Com esses parâmetros, o valor para a intensidade da chuva encontrada foi de 156,92 mm/h.

4.1.3 Dimensionamento da vazão de projeto

Para obtenção do valor da vazão de projeto foi utilizada a equação do PDDU de Porto Alegre citada anteriormente. O valor utilizado para a área foi obtido através de medição realizada no local enquanto a intensidade da precipitação foi encontrada com o cálculo do IDF da chuva de projeto realizado anteriormente.

O valor do coeficiente de escoamento foi obtido através de uma média entre os coeficientes que compõem o novo pavimento, concreto e grama, e seus valores calculados proporcionalmente com a área de atuação de cada um, conforme equação 7. Para isso, foi considerado o concreto com coeficiente de 0,95 e

representando 36% da área do bloco e a grama adotada um coeficiente de 0,10 com 64% da área.

$$c = \frac{(0{,}95*0{,}36)+(0{,}10*0{,}64)}{(0{,}36+0{,}64)} = 0{,}406 \quad (7)$$

Com isso, foi obtido um coeficiente de escoamento superficial médio de 0,406. Isso gera um cenário menos favorável para a eficiência do pavimento, mas a favor da segurança.

A área adotada para o cálculo da vazão de projeto foi de 1.832,33m², equivalentes a 0,00183km², conforme Tabela 5, onde constam todas as áreas individualizadas do estacionamento. Nesse caso, foram utilizados apenas os valores da área de pavimento asfáltico, pois é a área de intervenção a ser substituída.

Tabela 5 – Discriminação das áreas do estacionamento

Local	Área (m²)
Estacionamento	2.029,59
Canteiros laterais	81,90
Canteiro central	115,36
Pavimento asfáltico	1.832,33

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Os coeficientes elencados anteriormente foram aplicados na equação 3 e foi obtido um resultado de 0,0325m³/s para vazão de projeto do pavimento intertravado. Para fins comparativos, foi elaborada a Tabela 6, ondem foram calculadas a vazão atual do asfalto e a vazão da água captada pelos canteiros, para fins comparativos apenas. Para o asfalto, foi utilizado um coeficiente de escoamento de 0,95 e para os canteiros 0,10, ambos conforme Tabela 4 do PDDU-POA, citada anteriormente. Enquanto as metragens utilizadas foram as da Tabela 5.

Tabela 6 – Vazões de projeto comparativas

Superfície	Vazão de projeto (m³/s)
Asfalto	0,07594
Canteiros	0,00799
Concregrama	0,03245

Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

O valor encontrado para vazão do bloco de concregrama representa apenas 43% do valor da vazão do pavimento asfáltico. A simples substituição do pavimento gerou uma redução de 57% do volume de água que corre pela superfície em dias de precipitação elevada. Esse estudo adotou o coeficiente de escoamento superficial pessimista para o concregrama, pois foi considerado que a água precipitada sobre a área de concreto do bloco não escorrerá para o vazado que contém grama. Caso fosse adotado o coeficiente de uma superfície totalmente coberta por grama, como nos canteiros, geraria uma redução muito maior de escoamento superficial, onde seria retido um valor muito próximo a 90% de toda água precipitada.

4.1.4 Dimensionamento do dreno subterrâneo

Para o dimensionamento do dreno foi adotada a mesma declividade de 1% utilizada nas equações anteriores e um coeficiente de rugosidade de 0,009, referente a tubos de pvc. A equação para o cálculo da vazão coletada pelo dreno foi a mesma da vazão de projeto calculada anteriormente, porém foi adoto um valor para o coeficiente de escoamento inverso, considerando o volume de água que infiltrou no solo, conforme equação abaixo:

$$Q = 0{,}278 * (1 - 0{,}406) * 156{,}918 * 0{,}00183 = 0{,}20038$$

Com isso foi obtido um diâmetro de 0,200 metros, ou 200mm, nesse caso foi adotado um tubo 250mm por ter medida comercial acima da calculada. Esse valor foi considerado para toda a extensão do dreno até sua chegada no reservatório.

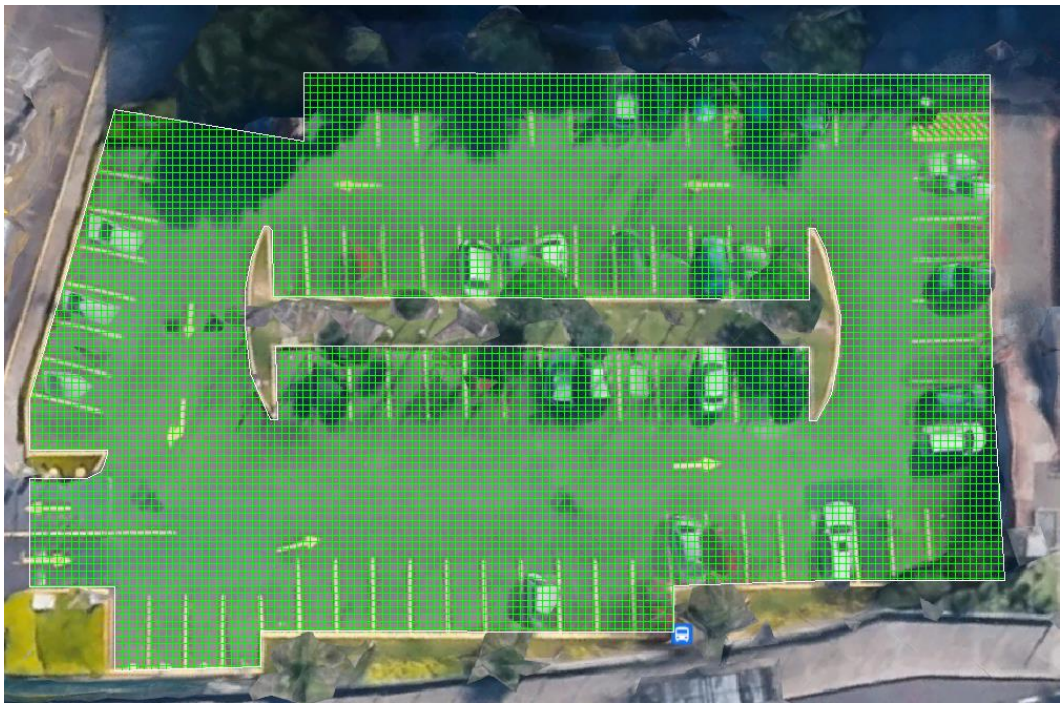
4.2 MICRODRENAGEM PROPOSTA

Nesta seção serão apresentados aspectos da implementação do pavimento intertravado proposto, assim como especificações da drenagem subterrânea.

4.2.1 Pavimento intertravado

Os parâmetros e especificações adotados para instalação e manutenção foram indicados pelo fabricante do pavimento utilizado como modelo, nesse caso a empresa NeoRex, onde cada camada foi dimensionada conforme recomendado (figura 14). Visto que o sistema construtivo proposto tem como objetivo atender à demanda de veículos leves na superfície (figura 16) e a drenagem na camada mais profunda, o dimensionamento correto das camadas inferiores ao pavimento é fundamental para obtenção da eficiência desejada.

Figura 16 – Área de instalação do pavimento intertravado



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

O pavimento analisado nesse estudo foi escolhido devido à sua alta taxa de área verde, o que permite maior absorção e permeabilidade da chuva. Para que isso seja possível, sua resistência só permite tráfego de veículos leves de passeio. Em

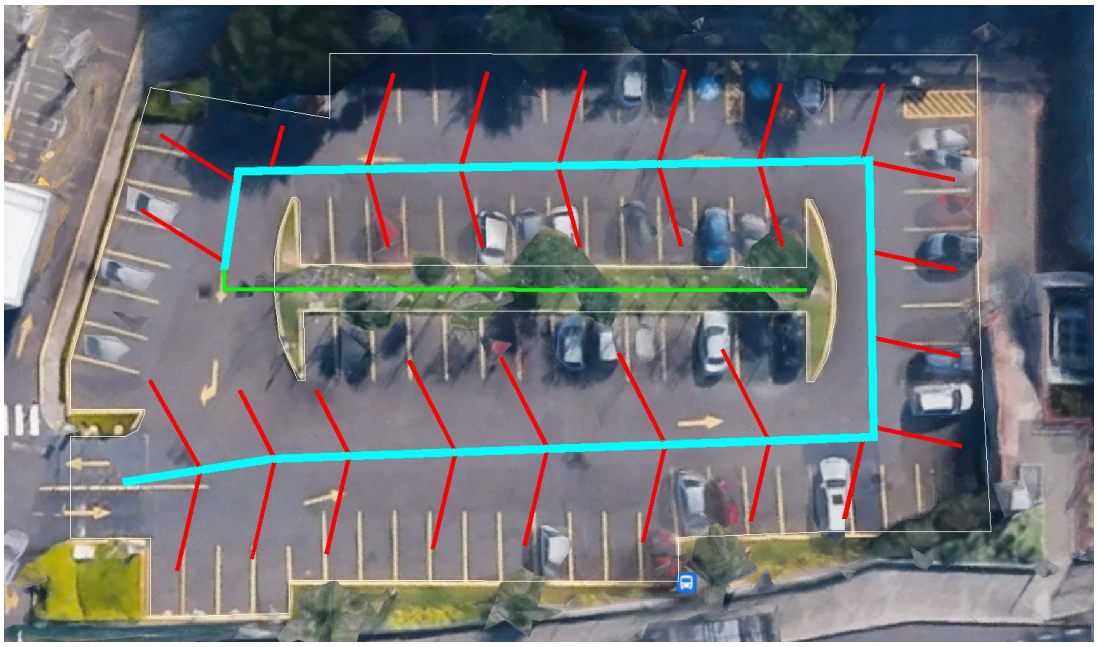
um cenário onde fosse necessário resistir a esforços de cargas mais pesadas, seria adotado outro tipo de pavimento permeável, indicado para tráfego intenso ou de veículos pesados que possibilitasse resultados similares aos obtidos.

4.2.2 Microdrenagem em espinha de peixe

Para melhor aproveitamento da drenagem, foi elaborada uma proposta para instalação da rede secundária de drenos no esquema espinha de peixe (Figura 17). O dreno principal está demarcado na cor azul e o sistema secundário na cor vermelha. A proposta levou em consideração o aproveito mais eficiente da área onde será instalado o pavimento permeável evitando espaçamentos excessivos entre os drenos.

Além do sistema de drenagem para captação da água, foi proposto um sistema de tubos que conduzem a água excedente do reservatório para irrigação subterrânea do canteiro central antes de despejar no sistema de drenagem público, identificado na cor verde.

Figura 17 – Proposta de drenagem em espinha de peixe



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Esse sistema é composto por uma rede de tubos de drenagem com furos para absorção da água, e é envolto em uma manta geotêxtil que evita o entupimento

das partes vazadas do tubo. Ele evita o acúmulo de água na superfície, pois facilita a drenagem da água precipitada em uma área mais abrangente, que nesse caso é toda a superfície de concregrama.

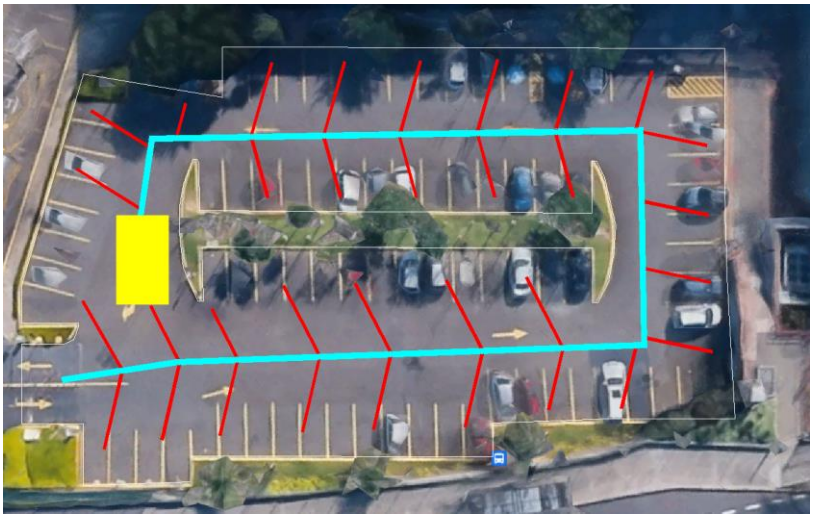
Sobre as camadas abaixo dos blocos do pavimento, este estudo propõe o uso de solos mais porosos, como areia que aceleram a velocidade que a água leva para percolar até o dreno. Para um sistema mais eficiente, é sugerido o uso de brita graduada entre a camada de areia e o dreno, evitando que o dreno fique em contato com a areia e possibilite que absorva toda a água sem nenhum tipo de restrição.

4.2.3 Reservatório de amortecimento

A equação proposta pelo PDDU-POA requer duas variáveis: a área total da superfície do empreendimento e a área da superfície responsável pela microdrenagem. Neste caso, a área total do empreendimento foi a área calculada do estacionamento de 2.029,59 m² (0,203 ha) e a área de drenagem foi a relação da superfície onde se instalará o pavimento permeável em relação à área total, 90,28%. Com isso, o valor do volume mínimo do reservatório de amortecimento é de 77,9 m³.

Foi adotado um tanque com 2,5 metros de profundidade, 5 m de largura e 7,5 de comprimento. A altura possui um valor maior que o necessário, pois foi adotado um vão interno entre a altura máxima de água e o topo do tanque. Esse espaço receberá o dreno para escoamento do excesso captado até a drenagem pública. A localização do tanque pode ser observada na Figura 18, identificado em amarelo.

Figura 18 – Localização do tanque de amortecimento



Fonte: Elaborada pelo autor (2022)

Conforme calculado anteriormente, a vazão de projeto do escoamento superficial encontrada foi de 0,03245 m³/s, esse valor foi estimado usando um coeficiente de 0,406, ou seja, 40,6% da água será escoada pela superfície. O valor da água drenada pelo pavimento será de 59,4%, ou 0,594. A vazão de projeto foi recalculada com esse coeficiente e foi encontrado um valor de 0,04748m³/s a serem drenados durante a chuva de projeto e captados pelo reservatório de amortecimento.

Com base nos dados encontrados, foi estimado que o tempo necessário para encher por completo o reservatório dimensionado anteriormente, ao absorver o volume precipitado pelo pavimento será de 1640,15 segundos, aproximadamente 27 minutos.

4.5 ANÁLISE DOS BENEFÍCIOS

A implementação de pavimento intertravado traz benefícios para diversos elementos da drenagem urbana. O principal benefício obtido pelo estudo é a redução do escoamento superficial de água precipitada, o que reduz o volume total de chuva que escoa da superfície do pavimento até algum elemento da drenagem local, como as bocas de lobo, por exemplo. Além disso, por ser um pavimento permeável, a velocidade da água ao percolar pelo solo é mais lenta, retardando sua chegada até a drenagem pública, o que não sobrecarrega o coletor.

Ao reter água nas suas camadas internas, o pavimento cria um microclima na universidade, pois essa água retida gera umidade para o ambiente e reduz a temperatura do local em dias mais quentes. Além disso a universidade também recebe uma área verde significativamente grande na sua entrada, proporcionando uma vista mais agradável de toda a fachada para os estudantes, professores, funcionários e para os pedestres que transitam nas adjacências do campus.

Quanto a sua implementação, o pavimento intertravado não necessita de mão de obra especializada nem de técnicas construtivas complexas e ainda o custo do bloco intertravado e da grama são pontos positivos para sua execução, visto que estão entre os tipos de pavimentos mais acessíveis no mercado. Comparado com o pavimento asfáltico, o maquinário para instalação dos blocos permeáveis e da grama se resume a ferramentas manuais de baixa complexidade.

Outro benefício que a substituição do pavimento asfáltico por blocos intertravados promove é a facilidade de manutenção caso haja necessidade de qualquer tipo de intervenção. A troca de peças ou a sua remoção para reparo nas camadas inferiores é mais simples que no pavimento asfáltico, por ser segmentado em blocos e de fácil instalação, esse modelo construtivo possibilita manutenção rápida e barata, reduzindo transtornos para os usuários.

Por ser altamente permeável, o pavimento intertravado permite a instalação de uma rede de drenagem subterrânea auxiliar, potencializando sua capacidade de absorção de água. Uma das suas vantagens é que toda a área onde ele é instalado conta como área de contribuição para essa coleta ao contrário da área muito inferior de uma boca de lobo ou grelha linear, por exemplo. Essa permeabilidade também reduz transtornos como acúmulo de água na superfície, pois a água penetra pelo solo de forma uniforme.

A fim de potencializar os benefícios da drenagem subterrânea viabilizada pelo pavimento intertravado, foi dimensionado um reservatório de amortecimento com duas funcionalidades de suma importância para a rede proposta. Primeiramente ele retarda ou até mesmo nega a chegada da água precipitada ao coletor público. Essa água retida faz parte da sua segunda funcionalidade que é o reaproveitamento da mesma, onde há possibilidade do uso de água não potável, como manutenção e rega do próprio pavimento, limpeza do passeio público ou uso em sanitários, por exemplo.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a realização dessa pesquisa, foi concluído que a implementação de pavimentos intertravados, quando executada da forma correta, é capaz de trazer benefícios para a drenagem urbana, assim como para a população e o meio ambiente.

Ao analisar os resultados obtidos, é possível afirmar que, em comparação ao pavimento asfáltico, pavimentos permeáveis proporcionam coeficientes de escoamento superficial inferiores, o que evita o sobrecarregamento da infraestrutura de drenagem pública ao retardar a velocidade que a água chega aos coletores da macrodrenagem. Além disso, também evitam problemas como retenção de água na superfície, pois permitem a instalação de sistemas de drenagem mais completos e eficientes nas camadas inferiores.

A redução do escoamento superficial encontrada foi de 57%, ou seja, mais da metade da água que corre pela superfície do concreto é absorvida pelo pavimento permeável. Esse valor foi encontrado utilizando um coeficiente desfavorável para o bloco intertravado ao considerar que a água precipitada na área de concreto não seria absorvida pela área de grama em nenhum momento. Caso fosse utilizado o coeficiente de escoamento superficial da grama para toda área de estudo, a redução seria de aproximadamente 90%.

Visto que o trabalho busca expor alternativas para drenagem atual do local de estudo e amenizar o volume escoamento para os coletores públicos, os pavimentos intertravados viabilizam isso com eficácia da mesma forma que possuem instalação incomplexa e manutenção trivial. O único ponto desfavorável possível quanto à manutenção do concregrama é o cuidado da grama em si, o que pode ser facilmente substituído por cascalhos ou qualquer outro tipo de preenchimento que permita a percolação da água, sem grandes empecilhos.

Sobre as equações utilizadas para o dimensionamento da drenagem, foi utilizado o Plano Diretor de Drenagem Urbana de Porto Alegre como referência, o que permitiu melhor compatibilização e padronização das variáveis. Poucas fórmulas foram adaptadas de outros lugares, a fim de evitar qualquer tipo de discrepância entre os resultados, porém, para obtenção de resultados adequados para o local analisado, essas outras equações proporcionaram um contexto mais fiel e compatível com a realidade.

Uma das finalidades dessa pesquisa é apresentar uma proposta eficiente que pode facilmente ser replicada em outros locais, inclusive na própria instituição. Podem ser adotados pavimentos permeáveis de outros tipos, com diferentes coeficientes de escoamento superficial, técnicas de drenagem alternativas ou com camadas inferiores compostas por outros materiais.

Essa é uma das sugestões desse trabalho para futuros estudos: analisar como diferentes combinações podem trazer resultados semelhantes ou até melhores que os apresentados. Quanto ao reaproveitamento de água, também é proposto um redimensionamento mais acurado do reservatório, prevendo quanto de chuva será captado em uma realidade histórica plausível, o volume de água utilizado por cada atividade dessa água não potável e qual a capacidade que o reservatório deve ter para que a água captada sustente esse sistema. Uma das possibilidades teóricas é a autossuficiência da universidade quanto ao uso de água não potável, o que reduz a demanda de água potável e também o despejo de água pluvial para os coletores públicos.

REFERÊNCIAS

ADGER, W.N. et al. Assessment of adaptation practices, options, constraints and capacity. In: M.L. PARRY et al. (Eds.), **Climate change 2007**: impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of working group ii to the fourth assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (pp. 719-743). Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

ALMEIDA, Jean Carlos B. **Drenagem urbana**. Curitiba: Contentus, 2020.

ARAÚJO, Bruno Aragão Martins de et al. Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011. Disponível em: <https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/81.pdf>. Acesso em: 3 set. 2022.

BELLEI, Marla. **Processo de urbanização**. Nov. 2001. Artigo. Disponível em: <https://www.direitonet.com.br/artigos/exibir/496/Processo-de-urbanizacao>. Acesso em: 2 mai. 2022.

BOTELHO, Manoel H. C. **Águas de chuva**: engenharia das águas pluviais nas cidades. 4. ed. São Paulo: Blutcher, 2018.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nºs 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília: **Diário Oficial da União**, 5 jan. 2007.

CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Disponível em http://lattes.cnpq.br/web/dgp/engenharias. Acesso em 28.09.2020.

COLGLAZIER, W. Sustainable development agenda: 2030. **Science**, v.349, n.6252, p. 1048-1050, set. 2015.

DIAS, F.S.; ANTUNES, P.T.S.C. **Estudo comparativo de projeto de drenagem convencional e sustentável para controle de escoamento superficial em ambientes urbanos**. Curso de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio Janeiro, 2011.

DINGMAN, S.L. Physical hydrology. Hampshire: Prentice Hall, 2002.

DINIZ, C.M.; RANGEL, M.P.; OLIVEIRA, M.B.; ROSTANGO, P.V. A interferência das redes subterrâneas na qualidade da pavimentação urbana: comparativo econômico entre alternativas de traçado. **Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico**, n.2, v.2, 2016. Disponível em: <http://reinpeconline.com.br/index.php/reinpec/article/view/116/79>. Acesso em: 15 mai. 2022.

ENDRENY, T.A.; IMBEAH, N. Generating Robust Rainfall Intensity-Duration-Frequency Estimates With Short-Record Satellite Data. Journal of Hydrology, v.371, p. 182-191, 2009.

FAIVRE, Nicolas; FRITZ, Marco; FREITAS, Tiago; et. al. Nature-Based Solutions in the EU: innovating with nature to address social, economic and environmental challenges. **Environmental Research**, v.159, p. 509-518, nov. 2017. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2017.08.032>. Disponível em: 8 mai. 2022.

FRAGOSO, G.A.; SILVA, F.P.; SILVA, J.C.C.; ALVES, A.F.; CARVALHO, B.G.P. Planejamento, ordenamento e gestão integrada. Diagnóstico do sistema de drenagem urbana da cidade de Belém, Pará: uma análise dos principais bairros da cidade. *In*: ENEEAMB, 4; FÓRUM LATINO, 2; SBEA – CENTRO-OESTE, 1. **Anais**. Brasília, 2016.

GARCEZ, L.; ALVAREZ, G. **Hidrologia**. 2. ed. São Paulo: Edgar Blucher Ltda., 1988.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2010.

GIRÃO, L.F.O.; SIMÕES, N.E.C.; MARQUES, J.A.A.; LEITÃO, J.P.C.; PINA, R.D. Modelação hidráulica e de qualidade da água dos sistemas de drenagem em meios urbanos. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.22, n.2, p. 351-360, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/gKzj6n8LvBbHZzZGSWyPNVq/?lang=pt>. Acesso em: 15 mai. 2022.

HÖFER, Rainer. **History of the Sustainability Concept – Renaissance of Renewable Resources**. [S.l.]. Royal Society of Chemistry, 2009. p. 1-11. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1039/9781847552686-00001>. Acesso em: 9 mai. 2022.

MACHADO, A.B.; PEREIRA, L.C. Os caminhos no século XXI do desenvolvimento sustentável. **Ecodebate**, v.1, p. 1-3, 2019.

MARTINS JUNIOR, Joaquim. **Como escrever trabalhos de conclusão de curso**. Petrópolis (RJ): Vozes, 2008.

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

MEVO Brasil. **Concregrama**. 2022. Disponível em: https://www.mevodobrasil.com/concregrama/> Acesso em: 15 out. 2022.

PAULA, J.S.; SILVA, J.S.; OLIVEIRA, M.A.F.; RANGEL, M.P. Execução de obras de drenagem pluvial: princípios empregados na construção de redes de drenagem urbana. Revista Interdisciplinar do Pensamento Científico, n.2, v.3, 2017. Disponível em: <http://reinpeconline.com.br/index.php/reinpec/article/view/170>. Acesso em: 16 mai. 2022.

PINTO, N.L.D.S. et al. **Hidrologia básica**. 13ª reimpr. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 2011.

PNDU. **Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD)**: acompanhando a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: subsídios iniciais do Sistema das Nações Unidas no Brasil sobre a identificação de indicadores nacionais referentes aos objetivos de desenvolvimento sustentável/Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Brasília: PNUD, 2015. 291 p.

POMPÊO, Carlos A. Drenagem urbana sustentável. **RBRH −Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Santa Catarina, v.5, n.1, p. 15-23, mar. 2000.

REIS, Luisa Fernanda Ribeiro. Chuva de projeto. 2020. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5812965/mod_resource/content/1/SHS359-10112020-Chuva%20de%20Projeto.pdf>. Acesso em 27 ago. 2022.

RIGHETTO, A.M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.22, n.6, p. 1109-1120, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/qYyfFKqt5z7sKVcXW7TmMSg/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 16 mai. 2022.

SAMPIERI, Roberto Hernándes, COLLADO, Carlos Fernández e LUCIO, Maria del Pila Baptista. **Metodologia de pesquisa**. Porto Alegre: Penso, 2013.

ENDRENY, T.A.; IMBEAH, N. Generating Robust Rainfall Intensity-Duration-Frequency Estimates With Short-Record Satellite Data. Journal of Hydrology, v.371, p. 182-191, 2009.

SMIT, B.; WANDEL, J. Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. **Global Environmental Change**, 16(3), 282-292, 2006.

SILVEIRA, André Luiz Lopes da; BEMFICA, Daniela da Costa; GOLDENFUM, Joel Avruch. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.5, n.4, out./dez. 2000.

TASCA, F. A.; POMPÊO, C. A.; FINOTTI, A.. Gestão da drenagem urbana em municípios de pequeno porte da bacia hidrográfica do Rio Itajaíaçu. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21. **Anais**. Brasília, 2015.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia**: ciência e aplicação. 5ª reimpr. 4. ed. Porto Alegre: Editora d UFRGS/ABRH, 2013.

TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T.D. **Drenagem urbana**. Reimpr. Porto Alegre: ABRH, 2015.

UN – United Nations. Department of Economic and Social Affairs Population Division. **World urbanization prospects**: the 2014 revision. New York: United Nations. Disponível em: <https://esa.un.org/unpd/wup/publications/files/wup2014-highlights.pdf>. Acesso em: 25 abr. 2022.