

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

MICHELLY MARTINS DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE DRENAGEM
COMPENSATÓRIOS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PORTO
ALEGRE/RS**

Porto Alegre
Setembro de 2023

MICHELLY MARTINS DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS DE DRENAGEM
COMPENSATÓRIOS: ESTUDO DE CASO NO MUNICÍPIO DE PORTO
ALEGRE/RS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Comissão de
Graduação do Curso de Engenharia Civil da Escola de Engenharia
da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos
requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. Fernando Dornelles

Porto Alegre
Setembro de 2023

MICHELLY MARTINS DA SILVA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE SISTEMAS
DE DRENAGEM COMPENSATÓRIOS: ESTUDO DE CASO
NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE/RS**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pela Banca Examinadora, pelo/a Professor/a Orientador/a e pela Comissão de Graduação do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, setembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Fernando Dornelles (UFRGS)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Orientador

Profa. Camila Angélica Baum (UFPR)
Dr. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Membro externo

Prof. André Luiz Lopes da Silveira (UFRGS)
Dr. pela Université de Montpellier II/França
Membro interno

Aos meus pais,

Claudionir (em memória) e Loreni.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, professor Fernando Dornelles, pela paciência, atenção e por todos os ensinamentos transmitidos para conclusão deste trabalho.

Agradeço aos meus pais, Claudionir e Loreni, que me deram todo suporte para que eu permanecesse no curso e sempre incentivaram e apoiaram todas as minhas decisões e nunca mediram esforços para que eu realizasse todos meus sonhos. Obrigada por todo carinho, cuidado e amor incondicional.

Agradeço à minha irmã Christiani, por ser meu porto seguro nos dias mais difíceis e nunca me deixar desistir. Por sempre me incentivar e esperar por esse momento tanto quanto eu.

À minha sobrinha Rafaella, que aguarda ansiosamente pela conclusão desta etapa e traz mais alegria a nossa família desde que nasceu.

Ao meu namorado Pedro, por todo carinho e compreensão nos momentos mais difíceis e por sempre acreditar em mim.

Agradeço aos amigos, de vida e de UFRGS, por compartilharem a vida comigo e tornarem todo esse caminho mais leve.

Por fim, agradeço à oportunidade de estar me formando na UFRGS, uma instituição pública, gratuita e de qualidade, capaz de proporcionar conhecimentos que vão muito além da formação acadêmica.

RESUMO

O aumento da urbanização transformou as paisagens naturais em áreas densamente construídas, com vastas extensões de superfícies impermeáveis, com estradas e edifícios. Como resultado, a capacidade natural da região para absorver e drenar a água da chuva foi significativamente comprometida. A proposta deste trabalho é aprofundar nossa compreensão sobre a viabilidade e os benefícios das práticas de gestão sustentável de águas urbanas. Para isso, foi realizada uma análise dos custos associados à implementação de soluções como pavimentação permeável e trincheira de infiltração, em comparação com a instalação convencional de reservatório de retenção. O estudo envolveu a caracterização e dimensionamento destes dispositivos para um condomínio residencial localizado na zona sul de Porto Alegre/RS, utilizando o método da curva envelope para obter os resultados. A partir do dimensionamento hidráulico das estruturas, foi obtido o quantitativo de materiais e estimado o custo da sua implantação utilizando os valores de insumos fornecidos pela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Índices e Custos da Construção Civil) e os valores de serviço fornecidos pela tabela de preços para obras viárias da Secretaria Municipal de Obras e Viação do Município de Porto Alegre (SMOV). Os resultados indicaram que, para os parâmetros aos quais foram aplicados, os dispositivos de infiltração, não possuem a capacidade de infiltrar todo escoamento pluvial proveniente do lote em que está inserido sendo preciso utilizar o recurso da vazão máxima de saída de 20,8 l/s.ha determinado pelo Decreto 15.371 de 2006 de Porto Alegre, em contrapartida, apresentaram uma economia de 45% no custo em comparação à utilização do reservatório de retenção. Além de que a abordagem dos sistemas de drenagem sustentáveis traz benefícios significativos para a cidade como a mitigação de enchentes, melhoria da qualidade da água, recarga de aquíferos, redução da ilha de calor e a criação de ambientes urbanos mais sustentáveis.

Palavras-chave: Gestão de Águas Urbanas, Medidas Compensatórias, Método Curva-Envelope

ABSTRACT

The increase in urbanization has transformed natural landscapes into densely built areas with vast expanses of impermeable surfaces, such as roads and buildings. As a result, the region's natural capacity to absorb and drain rainfall has been significantly compromised. The aim of this study is to deepen our understanding of the feasibility and benefits of sustainable urban water management practices. To achieve this, a cost analysis was conducted for the implementation of solutions like permeable pavement and infiltration trench in comparison to conventional detention reservoir installation. The study involved the characterization and sizing of these devices for a residential condominium located in the southern zone of Porto Alegre/RS, using the envelope curve method to obtain the results. Hydraulic sizing of the structures yielded the quantity of materials required, and the cost of implementation was estimated using input values provided by SINAPI (National System of Indexes and Costs for Civil Construction) and labor costs provided by the municipal price list (SMOV). The results indicated that, for the parameters to which they were applied, the infiltration devices do not have the capacity to infiltrate all rainwater runoff from the lot in which it is located, making it necessary to use the maximum output flow resource of 20.8 l/s.ha determined by Decree 15,371 of 2006. of Porto Alegre, on the other hand, presented savings of 45% compared to the use of the detention reservoir. In addition, the approach of sustainable drainage systems brings significant benefits to the city, such as flood mitigation, improved water quality, groundwater recharge, reduction of the urban heat island effect, and the creation of more sustainable urban environments.

Keywords: Urban Water Management, Compensatory Measures, Rain-Envelope-Method

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Impacto da urbanização sobre o hidrograma.....	21
Figura 2 — Seção de uma estrutura típica de pavimento permeável.....	24
Figura 3 — Vista superior do bloco de concreto	27
Figura 4 — Esquema de uma trincheira de infiltração	29
Figura 5 — Variação dos tipos de bacia	31
Figura 6 — Esquema reservatório de detenção em concreto a seco.....	31
Figura 7 — Curva envelope das vazões afluentes e efluentes.....	40
Figura 8 — Localização da área de estudo	44
Figura 9 — Localização da bacia hidrográfica da área de estudo	45
Figura 10 - Locação do reservatório de detenção no condomínio X.....	47
Figura 11 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração total.....	54
Figura 12 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração total.....	54
Figura 13 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 7,6 \text{ mm/h}$	55
Figura 14 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 7,6 \text{ mm/h}$	56
Figura 15 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$	57
Figura 16 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$	57
Figura 17 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$	58
Figura 18 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$	58
Figura 19 — Curva Envelope: Reservatório de detenção	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Fases do desenvolvimento da gestão das águas urbanas.....	16
Tabela 2 — Especificação para o material de sub-base e/ou base.....	26
Tabela 3 — Distribuição granulométrica recomendada para o material de sub-base e base.....	26
Tabela 4 — Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável....	28
Tabela 5 — Período de retorno para projetos de drenagem urbana.....	33
Tabela 6 — Valores típicos de coeficiente de escoamento para diversas superfícies ...	34
Tabela 7 — Coeficientes de escoamento em superfícies típicas de vias	35
Tabela 8 — Valores típicos de taxas de infiltração	36
Tabela 9 — Condutividade hidráulica	37
Tabela 10 — Porosidade Efetiva para materiais granulares	38
Tabela 11 — Fatores de segurança para o coeficiente de infiltração.....	38
Tabela 12 — Definição do coeficiente de escoamento das áreas do empreendimento	46
Tabela 13 — Proposta das dimensões das trincheiras	47
Tabela 14 — Escoamento superficial das áreas de contribuição do pavimento permeável.....	49
Tabela 15 — Dimensões das trincheiras de infiltração.....	51
Tabela 16 — Volume necessário para armazenamento nos dispositivos de infiltração	53
Tabela 17 — Composição de custos da pavimentação permeável	60
Tabela 18 — Composição de custos da trincheira de infiltração.....	60
Tabela 19 — Composição de custos da pavimentação permeável sem a camada de revestimento	61
Tabela 20 — Composição de custos do reservatório de retenção.....	62
Tabela 21 — Resumo comparativo de custos	63

LISTA DE SIGLAS

CBR	Índice de Suporte Califórnia
IDF	Intensidade-Duração-Frequência
IPH	Instituto de Pesquisa Hidráulica
PDDuR	Plano Diretor de Drenagem Urbana
SCS	Serviço de Conservação de Solos (<i>Soil Conservation Service</i>)
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SMOV	Secretaria Municipal de Obras e Viação
INPC	Índice Nacional de Preços ao Consumidor
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LISTA DE SÍMBOLOS

i	Intensidade da chuva (mm/h)
T	Período de retorno (anos)
t	Duração de chuva (min)
a, b, c	Parâmetros da equação
$V_{AFLUENTE}$	Volume de entrada (m ³)
C	Coefficiente de escoamento (adimensional)
I	Intensidade média da chuva (mm/h)
A	Área de contribuição (ha)
t	Duração da precipitação (h)
$V_{EFLUENTE}$	Volume de saída (m ³)
FS	Fator de segurança (colmatação)
K_{SAT}	Condutividade hidráulica saturada no solo (m/s)
A_{perc}	Área de infiltração ou percolação (m ²)
t_p	Tempo de percolação (s)
Q_{pd}	Vazão de pré-dimensionamento (L/s);
A	Área do lote ou loteamento (ha);
V_{proj}	Volume da camada de reservatório de armazenamento (m ³)
A_{dis}	Área disponível para implantação (m ²)
H_{res}	Altura do reservatório (m)
\emptyset	Porosidade do material de enchimento (%)

h	Altura da trincheira (m)
b	Largura da trincheira (m)
L	Comprimento da trincheira (m)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 DIRETRIZES DE PESQUISA	18
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA	18
2.2 OBJETIVOS.....	18
2.2.1 Objetivo Principal.....	18
2.2.2 Objetivo Secundário	18
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM PLUVIAL	20
3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIOS	21
3.2.1 Pavimentação Permeável.....	22
3.2.1.1 Requisitos Gerais.....	25
3.2.1.2 Requisitos das camadas que compõe o pavimento.....	25
3.2.1.3 Revestimento	27
3.2.1.4 Manta Geotêxtil.....	28
3.2.2 Trincheiras de Infiltração.....	28
3.2.3 Reservatórios de Detenção	30
3.3 VARIÁVEIS INTERVENIENTES	32
3.3.1 Período de Retorno	32
3.3.2 Precipitações Pluviais	33
3.3.3 Escoamento Superficial	34
3.3.4 Caracterização do Solo	35
3.3.4.1 Taxa de Infiltração.....	35
3.3.4.2 Condutividade Hidráulica	37
3.3.4.3 Porosidade Efetiva.....	37
3.3.5 Fator de Segurança	38

4 METODOLOGIA.....	39
4.1 ESTIMATIVA DE VAZÕES DE PROJETO	39
4.1.1 Volume Afluente	41
4.1.2 Volume Efluente	41
4.2 VAZÃO MÁXIMA DE SAÍDA DO LOTE.....	42
4.3 ANÁLISE DE CUSTOS.....	43
5 ESTUDO DE CASO	44
5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	44
5.2 CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO	46
5.3 PROJETO DO RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO	46
5.4 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INFILTRAÇÃO.....	47
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
6.1 DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE ARMAZENAMENTO	48
6.1.1 Pré-dimensionamento da Pavimentação Permeável:	48
6.1.2 Pré-dimensionamento da Trincheira de Infiltração	50
6.1.3 Pré-dimensionamento do Reservatório de Detenção	51
6.1.4 Volume de Armazenamento Solicitado	52
6.2 ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO	53
6.3 ANÁLISE DE CUSTOS.....	59
6.3.1 Dispositivos de Infiltração	59
6.3.2 Dispositivo de detenção	62
6.3.3 Comparativo de custos	62
7 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS	66
APÊNDICE A.....	69
APÊNDICE B.....	73

1 INTRODUÇÃO

O intenso processo de urbanização ocorrido no Brasil nas décadas de 1970 e 1980 tem causado, dentre outros impactos, o aumento da quantidade e da frequência de inundações. Estes impactos são resultados da crescente impermeabilização do solo que reduz a sua capacidade natural de amortecimento e provoca o aumento do volume pluvial escoado, que segundo Tucci e Genz (1995) podem representar um aumento nas vazões máximas de até seis vezes do que seriam antes da urbanização.

A urbanização causa vários efeitos aos ciclos naturais, um deles são as enchentes, lentas ou rápidas, que se avolumam no decorrer dos dias e trazem diversos transtornos para a sociedade, com prejuízos na saúde pública, danos materiais e humanos (TUCCI, 2003; COSTA JUNIOR e BARBASSA, 2006).

Para conter os problemas de drenagem urbana, em um primeiro momento algumas cidades passaram a canalizar e retificar os cursos d'água. Esta abordagem é chamada de "clássica" ou "higienista" e seu resultado é o aumento na velocidade de escoamento, que traz diversas consequências para locais a jusante, podendo agravar as inundações e contaminação dos mananciais. Esta abordagem resulta em novas obras de drenagem, seja por aumento da seção dos canais naturais, seja pela substituição de condutos por outros de maior diâmetro, resultando em obras com custo elevado para a sociedade (FEITOSA, 2015; TUCCI 2012).

Em países desenvolvidos, com o objetivo de amenizar as consequências deixadas pela gestão higienista, a partir da década de 1970, deu-se início a fase "corretiva" que buscava introduzir o tratamento do esgoto doméstico e industrial e utilizar sistemas de amortecimento do escoamento para minimizar as vazões de pico com técnicas construtivas como reservatórios de detenção e retenção. Já nos anos 1990, entendeu-se a necessidade de restaurar o ciclo hidrológico para o mais próximo possível das condições de pré-urbanização, e a partir de então, países como Estados Unidos e Inglaterra, começaram a investir em uma política de drenagem urbana sustentável, propondo o tratamento das águas pluviais, a preservação do escoamento e a priorização da infiltração das águas no solo por meio de técnicas compensatórias como pavimentação permeável, poços de infiltração, trincheiras de infiltração e telhados verdes. (FEITOSA, 2015; TUCCI 2012).

Tabela 1 — Fases do desenvolvimento da gestão das águas urbanas

Fase	Características	Consequências
Pré-higienista: até início do século XX	Esgoto em fossas ou na drenagem, sem coleta ou tratamento e água da fonte mais próxima, poço ou rio	Doenças e epidemias, grande mortalidade e inundações
Higienista: antes da década de 1970	Transporte de esgoto distante das pessoas e canalização do escoamento	Redução das doenças, mas rios contaminados, impactos nas fontes de água e inundações
Corretiva: entre as décadas de 1970 e 1990	Tratamento de esgoto doméstico e industrial, amortecimento do escoamento	Recuperação dos rios, restando a poluição difusa, obras hidráulicas e impacto ambiental
Desenvolvimento sustentável: depois da década de 1990	Tratamento terciário e do escoamento pluvial, novos desenvolvimentos que preservam o sistema natural	Conservação ambiental, redução das inundações e melhoria da qualidade de vida

Fonte: Adaptado de Tucci (2007) apud Tucci (2012)

No Brasil, assim como em outros países em desenvolvimento, a maioria das cidades ainda se encontra na fase higienista. Algumas cidades como Porto Alegre, São Paulo e Brasília, devido às suas políticas públicas, se enquadram entre as fases higienista e corretiva (TUCCI, 2012).

Porto Alegre, assim como demais cidades brasileiras, possui uma sobrecarga na rede de drenagem. Para enfrentar esta problemática, foi criado o Plano Diretor de Drenagem Urbana (PDDrU) que estabelece medidas para resolver esta questão. O PDDrU apresenta algumas soluções para o controle do escoamento na fonte, como dispositivos que aumentam as áreas de infiltração e estruturas que armazenam temporariamente a água.

No contexto brasileiro, apesar do crescente número de estudos que tratam dos sistemas de drenagem urbana sustentáveis, sua implementação ainda é incomum, tendo como fatores a falta de incentivo por políticas públicas e a falta de informações na literatura sobre sua aplicabilidade, custos e manutenção. (REIS et al., 2013).

Visando contribuir com esta reflexão, este trabalho propõe analisar o custo das estruturas de pavimentação permeável e trincheira de infiltração e comparar com o custo

de implantação de um reservatório de detenção, pois por mais que seja mais usual sua aplicação, possui apenas a função de retardar os picos de vazões e não contribui para restabelecer o ciclo hidrológico da bacia. Para alcançar esses resultados, estes dispositivos hipotéticos serão caracterizados e dimensionados para propriedades de solo e chuva da cidade de Porto Alegre.

2 DIRETRIZES DE PESQUISA

2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa deste trabalho é a seguinte: é viável a substituição total de um reservatório de detenção projetado para um condomínio por dispositivos de infiltração quanto aos resultados esperados e ao custo?

2.2 OBJETIVOS

2.2.1 Objetivo Principal

Este trabalho tem como objetivo avaliar os dispositivos de pavimentação permeável e trincheiras de infiltração quanto ao custo-benefício em relação ao reservatório de detenção de águas pluviais em um condomínio residencial no município de Porto Alegre/RS.

2.2.2 Objetivo Secundário

- Avaliação comparativa das estruturas compensatórias: Investigar e comparar as estruturas compensatórias de drenagem, como pavimentação permeável, trincheira de infiltração e reservatório de detenção, com foco em sua eficiência hidráulica e impacto na gestão das águas pluviais.
- Análise orçamentária: Realizar uma análise orçamentária das estruturas de pavimentação permeável e trincheira de infiltração, a fim de identificar custos diretos e indiretos associados à implementação dessas soluções em comparação com o reservatório de detenção.

- **Ampliação do Conhecimento na Literatura:** Contribuir para a ampliação do conhecimento científico e técnico na literatura acadêmica e profissional, fornecendo informações relevantes sobre a viabilidade de diferentes estruturas compensatórias de drenagem, auxiliando na tomada de decisões e no desenvolvimento de práticas mais sustentáveis na gestão de águas pluviais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 INFLUÊNCIA DA URBANIZAÇÃO NA DRENAGEM PLUVIAL

O aumento da população urbana no Brasil tem sido bastante intenso ao longo das últimas décadas. Esse crescimento tem resultado na formação de importantes metrópoles nas capitais dos estados brasileiros, que se desenvolvem a partir dos centros econômicos em direção às periferias (TUCCI, 2002; IBGE, 2015).

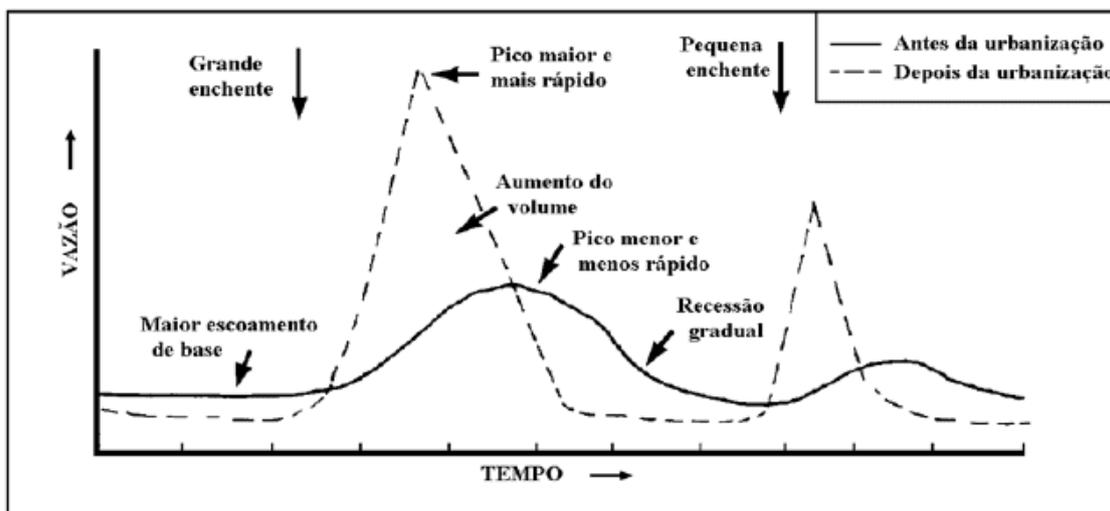
Em 2010, o país atingiu 84,3% da população em áreas urbanas, ocupando apenas 0,63% do território brasileiro (FARIAS et al, 2017).

A intensificação da urbanização no Brasil foi tardia, se comparado à países considerados desenvolvidos. Esse processo está relacionado ao desenvolvimento econômico das cidades, segundo Baptista et al. (2002), conforme ocorre a transição da economia de base agrícola e de ocupação populacional predominante em áreas rurais, para as sociedades industriais e urbanas.

Segundo Miguez et al (2015), a urbanização é uma das ações antrópicas que mais geram impactos ambientais devido às alterações do uso original do solo. Este processo resulta na impermeabilização de áreas, alterações no ciclo hidrológico da bacia e conseqüente eventos de enchentes.

A conseqüência deste processo se reflete nos hidrogramas gerados antes e depois da ocupação de uma determinada região (Figura 1). A disparidade entre esses hidrogramas corresponde ao volume que precisa ser temporariamente retido, a fim de preservar o padrão natural de escoamento do loteamento.

Figura 1 — Impacto da urbanização sobre o hidrograma



Fonte: Tucci (2007)

3.2 SISTEMAS DE DRENAGEM COMPENSATÓRIOS

A utilização de técnicas de infiltração como medidas compensatórias busca restabelecer os processos hidrológicos que foram afetados pela urbanização, como a infiltração, a interceptação e amortecimento da água da chuva, com o objetivo de reconstituir as condições prévias à ocupação e compensar na origem os volumes não infiltrados (SILVA, 2007).

Os sistemas compensatórios ou alternativos de drenagem urbana representam uma abordagem oposta ao conceito clássico de escoamento das águas pluviais, pois baseiam-se na infiltração e retenção das águas precipitadas.

Segundo Moura (2004), esses sistemas podem assumir diversas formas e serem aplicados em diferentes escalas, desde pequenas áreas até o planejamento de sistemas de drenagem para cidades inteiras. Além disso, eles são facilmente integrados ao ambiente urbano, proporcionando benefícios adicionais para a população, como áreas de estacionamento, espaços esportivos, parques ou áreas de lazer que podem ser temporariamente inundadas durante chuvas intensas. Essa versatilidade e a capacidade de agregar funcionalidades ao ambiente urbano os tornam soluções altamente atrativas e eficazes para enfrentar desafios relacionados à drenagem urbana sustentável.

Este trabalho irá analisar os dispositivos de drenagem: pavimentação permeável, trincheira de infiltração e reservatório de detenção, cuja finalidade seja a redução parcial ou total do volume escoado no interior de lotes residenciais.

Serão apresentados seu dimensionamento, materiais, restrições e custos.

3.2.1 Pavimentação Permeável

Os pavimentos permeáveis são técnicas compensatórias em drenagem urbana que têm por finalidade a redução do escoamento superficial, além de diminuir a área impermeável do lote onde estão instalados, influenciando diretamente sobre o hidrograma da bacia. Estas estruturas podem ser utilizadas em estacionamentos e em ruas de tráfego leve, dentro de condomínios residenciais, por exemplo. (ASCE, 1992 *apud* PINTO, 2011).

Os benefícios da pavimentação permeável são relacionados a sua principal função de promover a infiltração do escoamento superficial em sua superfície, viabilizando a recarga do lençol freático, a melhora da qualidade da água que infiltra pelo subsolo e a consequente diminuição no risco de enchentes e sobrecarga dos sistemas de drenagem urbanos. (SCHUELER, 1987).

Outras vantagens da pavimentação permeável podem ser observadas pela ótica da engenharia de transportes no controle da derrapagem, da aquaplanagem e do spray, tendo em vista que a percolação da água através da sua estrutura permite que elimine a lâmina d'água sobre a camada superficial. Na perspectiva geotécnica, os pavimentos permeáveis auxiliam no controle da erosão do solo urbano. (SCHUELER, 1987).

No entanto, alguns desafios também são identificados com o uso da pavimentação permeável. O acúmulo de sedimentos e materiais orgânicos nos poros do pavimento ao longo do tempo pode afetar sua eficiência e exigir manutenção regular. Além disso, em algumas áreas com solos inadequados ou alto nível do lençol freático, a infiltração pode ser limitada, reduzindo os benefícios da pavimentação permeável.

Segundo Pinto (2011), existem diversos tipos de revestimentos que podem ser considerados permeáveis. Urbonas e Stahre em 1993, trazem referência para três tipos

de pavimentos: asfalto poroso, concreto poroso e blocos de concreto, todos com a finalidade de minimizar o escoamento superficial.

Pinto (2011) salienta a importância de se atentar na diferenciação dos termos usualmente utilizados pela bibliografia: pavimentos permeáveis e pavimentos porosos:

Revestimentos permeáveis são aqueles materiais que permitem a percolação de fluidos entre eles, não sendo necessariamente porosos. Um exemplo desses materiais são os blocos de concreto que promovem a infiltração da água entre as juntas ou seus vazios até atingir a camada inferior de subleito, podendo ser armazenada e infiltrada no solo ou direcionada para o sistema de drenagem urbana. (BUTLER, DAVIS 2004, *apud* PINTO 2011).

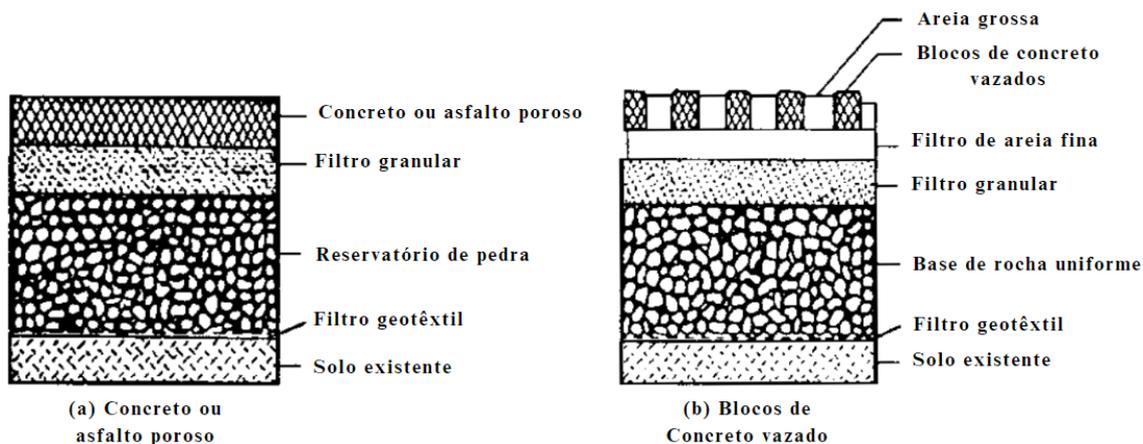
Revestimentos porosos são aqueles materiais que permitem que a água penetre por entre os seus poros. No caso dos pavimentos permeáveis, o concreto poroso e o asfalto poroso são executados de forma similar aos pavimentos convencionais, exceto pela retirada dos agregados finos em sua composição e assim permite que a água percole dentro de sua estrutura.

Por simplificação, neste trabalho será tratado apenas o pavimento permeável por blocos de concreto.

Existem inúmeros tipos de blocos de concreto disponíveis no mercado, como blocos maciços, blocos vazados e blocos permeáveis e quando comparados com revestimentos porosos apresentam o processo de colmatação mais lento. Também apresentam bom desempenho em qualquer condição climática, porém, quando submetidos a condições de tráfego de veículos intenso, os blocos podem se desalinhar devido a movimentações. (URBONAS, STAHERE, 1993).

A estrutura típica de um pavimento permeável com revestimento em blocos de concreto inclui camadas que favorecem a infiltração e a drenagem da água. As camadas de filtro e reservatório podem variar de acordo com o projeto e o tipo de pavimento. A Figura 2, a seguir, demonstra a seção transversal de um típico pavimento permeável em concreto ou asfalto poroso e em blocos de concreto vazados:

Figura 2 — Seção de uma estrutura típica de pavimento permeável



Fonte: Urbonas e Stahre (1993)

É importante destacar que a simples adoção de pavimentos permeáveis ou semipermeáveis, por si só, não representa um ganho significativo para os sistemas de drenagem. Uma melhoria significativa no controle do escoamento superficial é obtida com a combinação de pavimentos permeáveis ou semipermeáveis e uma estrutura de pavimento poroso, que permitirá a reserva temporária das águas pluviais com possibilidades de infiltração. (SÃO PAULO, 2012)

A norma brasileira NBR 16416:2015 – Pavimentos permeáveis de concreto, traz os seguintes parâmetros como requisitos para cada uma das camadas que compõe a estrutura do pavimento:

- Abrasão Los Angeles, é o teste que avalia a resistência ao desgaste de agregados, determinado pela norma brasileira NBR NM 51 – Agregado graúdo – Ensaio de abrasão Los Angeles;
- Índice de vazios do agregado, neste estudo determina a capacidade da camada em desempenhar a função de reservatório de água, determinado pela norma brasileira NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios;
- Índice de Suporte Califórnia (CBR), representa a capacidade relativa do solo de suportar cargas sem deformações excessivas, determinado pela norma brasileira NBR 9895 – Solo: Índice de Suporte Califórnia;

E por fim, faz a recomendação da distribuição granulométrica dos agregados finos e graúdos, conforme norma brasileira NBR NM 46 – Agregados.

3.2.1.1 Requisitos Gerais

- Condições de implantação do pavimento permeável, incluindo condições de carregamento quanto ao tipo de solicitação, capacidade de suporte do solo e de permeabilidade do subleito;
- Consideração das condições de saturação do solo;
- Considerar que a parte inferior da base do pavimento esteja no mínimo a 0,6m do nível mais alto do lençol freático;
- As áreas de contribuição não devem ultrapassar em até cinco vezes a área permeável do pavimento;
- A declividade deve ser de no máximo de 5% para áreas permeáveis e de 20% para as áreas de contribuição;
- Garantir resistência mecânica mínima do revestimento;
- Detalhar as juntas quando for o caso de concreto permeável moldado in loco;
- Avaliar o risco de contaminação do lençol freático, devendo a área permeável manter a distância de 30m de fontes de captação de água subterrâneas;

3.2.1.2 Requisitos das camadas que compõe o pavimento

A camada de base e sub-base deve ser constituída de materiais pétreos de granulometria aberta e cumprir as especificações expostas pela norma brasileira NBR 16416:2015 conforme a Tabela 2 e Tabela 3:

Tabela 2 — Especificação para o material de sub-base e/ou base

Propriedade	Método	Especificação
Abrasão "Los Angeles"	ABNT NBR NM 51	< 40%
Índice de vazios	ABNT NBR NM 45	≥ 32%
Índice de Suporte Califórnia (CBR)	ABNT NBR NM 9895	≥ 80%
Material passante na peneira com abertura de malha de 0,075mm	ABNT NBR NM 46	≤ 2%

Fonte: Adaptado de NBR 16416:2015

Tabela 3 — Distribuição granulométrica recomendada para o material de sub-base e base

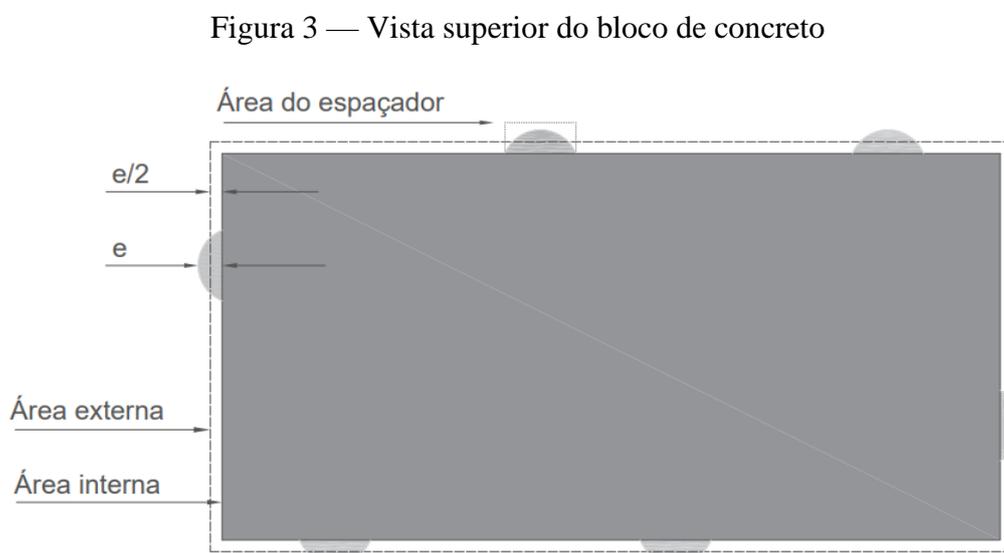
Peneira com abertura de malha	Porcentagem retida em massa %	
	Sub-base	Base
75,00 mm	0	-
63,00 mm	0 a 10	-
50,00 mm	30 a 65	-
37,50 mm	85 a 100	0
25,00 mm	90 a 100	0 a 5
19,00 mm	95 a 100	0 a 35
12,50 mm	-	40 a 75
4,75 mm	-	90 a 100
2,36 mm	-	95 a 100

Fonte: Adaptado de NBR 16416:2015

Em relação à camada de assentamento, a norma recomenda que seja uniforme e constante, permitindo variação máxima de ± 5 mm em relação à espessura especificada, que pode estar entre 20mm e 60mm na condição não compactada. A função desta camada é garantir que a superfície fique uniforme para o correto assentamento das peças pré-moldadas de concreto.

O material de rejuntamento é necessário em pavimentos intertravados permeáveis, onde a infiltração ocorre apenas pelas juntas alargadas ou pelas áreas vazadas das peças. A norma recomenda que o material de rejuntamento deve preencher as juntas ou áreas vazadas até 5 mm abaixo do topo das peças após a compactação

Em pavimentos com revestimento em blocos de concreto, a área de percolação ocorre pelas juntas alargadas ou pelas áreas vazadas entre as peças de concreto e deve corresponder a uma área entre 7% a 15% em relação à área total, incluindo a área que corresponde à metade da espessura dos espaçadores de cada peça, conforme ilustrado na Figura 3:



Fonte: Adaptado de NBR 16416:2015

3.2.1.3 Revestimento

Quanto ao pré-dimensionamento mecânico, a norma NBR 16146:2015 relaciona o tipo de revestimento com a solicitação imposta e indica qual a espessura mínima necessária do revestimento (Tabela 4).

Tabela 4 — Resistência mecânica e espessura mínima do revestimento permeável

Tipo de revestimento	Tipo de solicitação	Espessura mínima (mm)	Resistência mecânica característica (MPa)	Método de ensaio
Peça de concreto (juntas alargadas ou áreas vazadas)	Tráfego de pedestres	60	≥ 35	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Peça de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥ 20	ABNT NBR 9781
	Tráfego leve	80		
Placa de concreto permeável	Tráfego de pedestres	60	≥ 2	ABNT NBR 15805
	Tráfego leve	80		
Concreto permeável moldado no local	Tráfego de pedestres	60	≥ 1	ABNT NBR 12142
	Tráfego leve	100	≥ 2	

Fonte: Adaptado de NBR 16416:2015

Segundo Marchioni e Silva (2011), é apropriado o uso de peças pré-moldadas de concreto que possuam uma relação comprimento e espessura menor que quatro para locais de implantação onde ocorra tráfego de veículos, sendo o mais utilizado as dimensões de 10 x 20 cm.

3.2.1.4 Manta Geotêxtil

A manta tem a função de evitar que materiais finos do subleito adentrem na camada de sub-base e por isso é uma importante ferramenta para aumentar a vida útil do dispositivo, mas o seu uso não é obrigatório.

3.2.2 Trincheiras de Infiltração

As trincheiras de infiltração são estruturas utilizadas em sistemas de drenagem pluvial que têm como finalidade captar, armazenar e infiltrar a água das chuvas no solo contribuindo com a redução do escoamento superficial e risco de inundação, além de promover a recarga do lençol freático (MIKKELSEN e JACOBSEN, 1993).

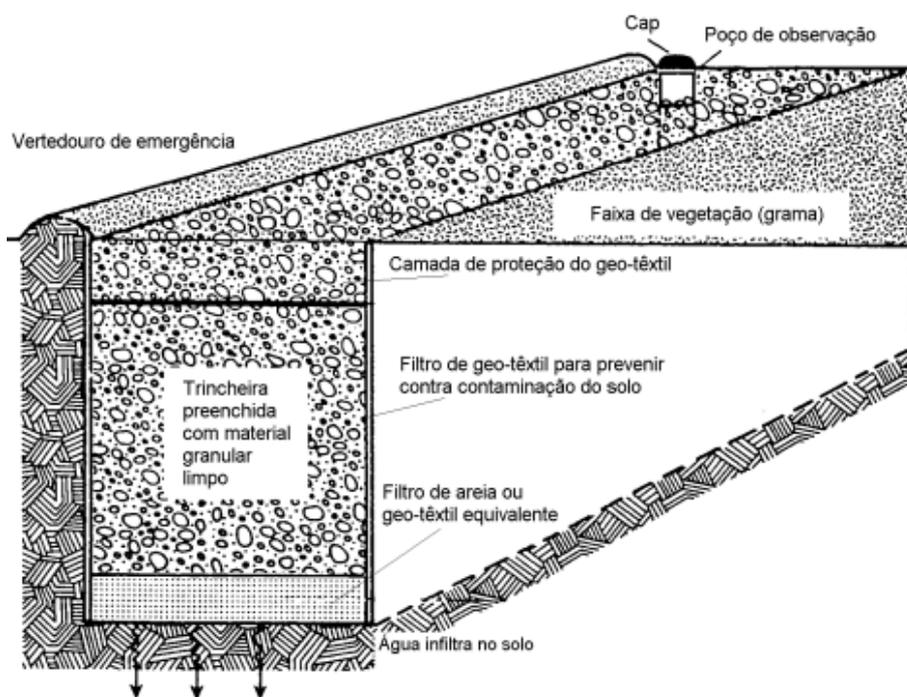
Tais estruturas são constituídas por uma vala longa e estreita no solo preenchidas por materiais porosos como brita, seixo rolado, dentre outros. A capacidade de armazenar a água depende da porosidade do material utilizado e geralmente fica em torno de 35%. Este material é revestido com uma manta geotêxtil que além de evitar a entrada de sedimentos finos e a consequente colmatção precoce da estrutura, também funciona como filtro para contaminantes do escoamento superficial (SOUZA e GOLDENFUM, 1999).

O material granular, apesar de reduzir a capacidade de armazenamento da trincheira, é necessário para segurança, estabilidade dos taludes e consequente redução do risco de erosão da estrutura, além de impedir que materiais grosseiros adentrem ao sistema. (LOURENÇO, 2014).

A sua geometria longa e estreita contribui para o aumento da relação entre a área efetiva de infiltração (as laterais) e o volume armazenado e minimiza a área da base que agregará os materiais finos que se depositam com o tempo de uso do sistema. (MIKKELSEN et al., 1996 *apud* GRACIOSA, 2005).

A figura 4 apresenta um típico esquema de uma trincheira de infiltração e seus diferentes componentes.

Figura 4 — Esquema de uma trincheira de infiltração



Fonte: Schueler (1987) *apud* Souza (2002)

Devido a sua geometria, as trincheiras de infiltração, podem ser facilmente incorporadas nas margens ou nas áreas não utilizadas de um terreno. Além disso, são um dos poucos dispositivos de drenagem que proporcionam a remoção de poluentes em lotes pequenos (SHUELER, 1987 *apud* SOUZA, 2002).

Segundo Miguez et al (2015), as trincheiras de infiltração são recomendadas em zonas residenciais e comerciais de média a alta ocupação urbana, além disso, devem ser aplicadas apenas onde o solo tenha permeabilidade que possa assegurar a taxa de infiltração projetada e o nível do lençol freático seja suficientemente baixo para evitar sua contaminação.

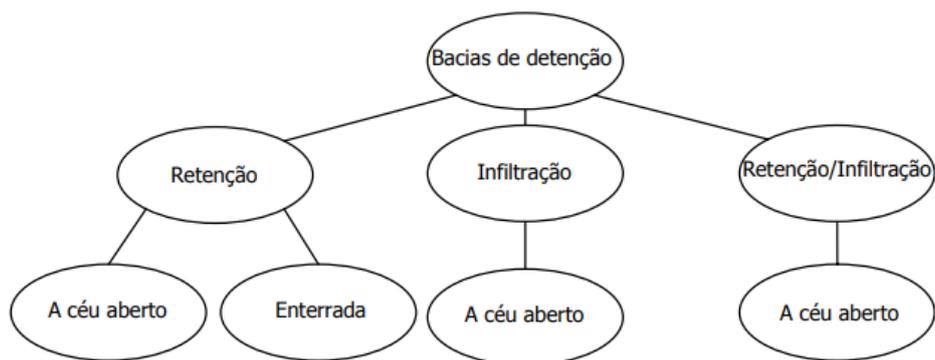
Há ainda, além da trincheira de infiltração, uma variante do sistema denominada trincheira de retenção. Esta funciona como reservatório de amortecimento com a finalidade de conduzir a água não infiltrada para outro local, sendo uma opção para utilização em solos pouco permeáveis. (BRASÍLIA, 2018).

3.2.3 Reservatórios de Detenção

Reservatórios de detenção são obras de drenagem com a finalidade de armazenar temporariamente as águas pluviais. Podem ser divididas em três tipos quanto a sua operação: bacias de detenção com armazenamento temporário das águas, bacias de infiltração que infiltram totalmente as águas recolhidas e bacias de retenção e infiltração com dupla função. Também são classificadas de acordo com as suas características físicas como: bacias a céu aberto com água ou seca, revestidas ou não, e bacias enterradas (MOURA, 2004)

Moura (2004) apresenta as diversas configurações da bacia conforme a figura 5 abaixo:

Figura 5 — Variação dos tipos de bacia



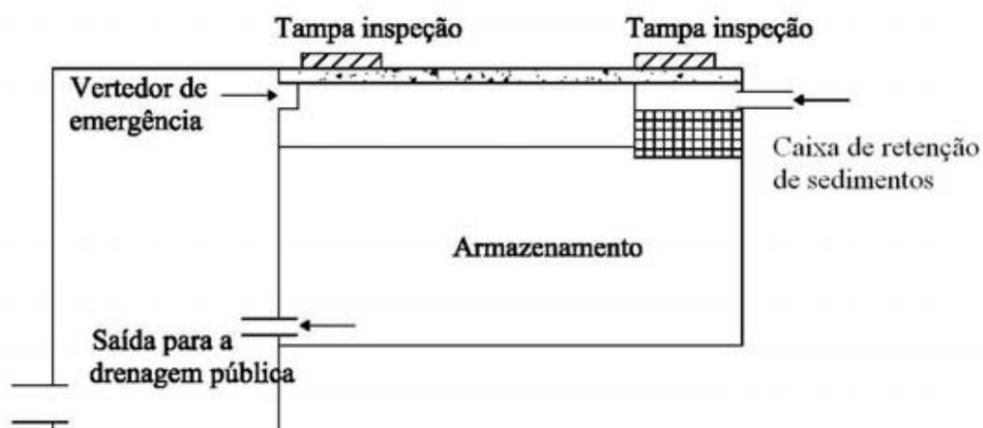
Fonte: Moura (2004)

Para fins de simplificação, neste trabalho serão considerados apenas os reservatórios de detenção como estruturas enterradas de armazenamento temporário seco, ou seja, que esvaziam completamente após os eventos de chuva.

Os reservatórios de detenção têm como finalidade minimizar os impactos hidrológicos da bacia através da redistribuição das vazões ao longo de um tempo maior por meio do armazenamento temporário dos volumes e consequente amortecimento de cheias (TUCCI, 1997).

Sua estrutura é composta por aberturas de entrada, reservatório dos volumes acumulados, estruturas de saída (descarga) e dispositivo de extravasamento (NAKAZONE, 2005). A Figura 6 apresenta um modelo esquemático:

Figura 6 — Esquema reservatório de detenção em concreto a seco



Fonte: Porto Alegre (2005)

Segundo Cruz, Araújo e Souza (1999), a implantação dos reservatórios depende das condicionantes espaciais do local, podendo estar sujeita a algumas restrições como disponibilidade de espaços livres, profundidade da rede coletora principal, declividades dos lotes e nível do lençol freático. Seu uso é indicado de modo que favoreça a entrada e a saída da água por gravidade, no entanto nem sempre isso é possível, sendo necessário, em algumas situações, a utilização de um sistema de bombeamento que eleva ainda mais o custo destas estruturas.

O'Loughlin et al (1995) citado por Cruz, Araújo e Souza (1999) define as principais vantagens e desvantagens da implantação dos reservatórios de retenção como:

- previne impactos adversos do desenvolvimento por restaurar o armazenamento natural perdido;
- não transfere os problemas de inundações para jusante;
- transfere as responsabilidades e custos para aqueles que se beneficiam da ocupação da área;
- permite criar uma base para controle da qualidade da água;
- critérios e métodos de projeto são usualmente muito simplificados;
- manutenção gera obrigações muito pesada aos proprietários;

3.3 VARIÁVEIS INTERVENIENTES

O dimensionamento de sistemas de drenagem é um processo complexo que requer consideração de variáveis intervenientes para garantir a eficiência e a segurança do sistema. Algumas das principais variáveis a serem consideradas no dimensionamento de sistemas de drenagem são descritas a seguir.

3.3.1 Período de Retorno

Período de retorno é o tempo médio, expresso em anos, entre a ocorrência de eventos extremos com magnitude igual ou superior a um determinado valor. De acordo com Zahed e Marcellini (1995) a escolha do tempo de retorno para projetos de obras de

drenagem urbana deve considerar a natureza das obras e os riscos que envolvem a segurança da população e as perdas materiais. Também deve-se levar em conta que a determinação do tempo de retorno admite um risco aceitável para a obra, já que quanto maior for o período de retorno maior será o nível de segurança e conseqüente resultará em um custo elevado.

Tabela 5 — Período de retorno para projetos de drenagem urbana

Sistema	Característica	Período de Retorno T (anos)	Valor frequente (anos)
Microdrenagem	Residencial	2 a 5	2
	Comercial	2 a 5	5
	Áreas de prédios públicos	2 a 5	5
	Aeroporto	5 a 10	5
	Áreas comerciais e Avenidas	5 a 10	10
Macro-drenagem		10 a 25	10
Zoneamento de áreas ribeirinhas		5 a 100	100*

*limite da área de regulamentação

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2005)

3.3.2 Precipitações Pluviais

A análise das precipitações pluviais pode ser feita a partir da relação Intensidade-Duração-Frequência, conhecida como IDF. Essa equação relaciona a intensidade da chuva com a duração e a frequência do evento de uma região para um determinado período de retorno, conforme a equação abaixo:

$$i = \frac{a.T^b}{t+c} \quad (1)$$

Onde:

i = Intensidade da chuva (mm/h)

T = Período de retorno (anos)

t = Duração de chuva (min)

a, b, c = Parâmetros da equação

3.3.3 Escoamento Superficial

É uma medida das características de impermeabilidade da bacia hidrográfica e pode variar de acordo com o uso do solo, tipo de pavimento e cobertura vegetal. O coeficiente de escoamento representa a fração da chuva que efetivamente escoar pela superfície em vez de infiltrar no solo. A Tabela 6 a seguir apresenta valores típicos do coeficiente de escoamento para diversas superfícies que podem ser consideradas no dimensionamento de obras hidráulicas.

Tabela 6 — Valores típicos de coeficiente de escoamento para diversas superfícies

Área de drenagem	Descrição	Valores típicos de C
Áreas Residenciais	Unifamiliares	0,30 - 0,50
	Edifícios com área verde adjacente	0,60 - 0,75
	Áreas residenciais com ocupação densa	0,70 - 0,95
	Áreas predominantemente residenciais	0,25 - 0,40
Áreas Industriais	Densas	0,60 - 0,90
	Pouco Densas	0,50 - 0,80
Áreas Comerciais	Densamente ocupadas	0,80 - 0,95
Vias	Asfaltadas ou concretadas	0,70 - 0,95
	Com calçamento tipo paralelepípedo	0,70 - 0,85
	Estacionamento pavimentados	0,80 - 0,95
Áreas verdes e parques		0,10 - 0,25
Áreas desocupadas		0,10 - 0,60

Fonte: Adaptado de baptista; nascimento; barraud (2005)

Como este estudo envolve o uso de pavimentação permeável, observa-se a necessidade de trazer informações sobre os valores encontrados para o coeficiente de

escoamento nas superfícies de diferentes tipos de pavimentação. A Tabela 7 a seguir apresenta o resultado dos ensaios realizados por Araújo (1999) citado Marchioni e Silva (2011) onde são obtidos os coeficientes de escoamento para superfícies de uso comum em pavimentações.

Tabela 7 — Coeficientes de escoamento em superfícies típicas de vias

Revestimento	Coeficiente de escoamento
Solo compactado	0,66
Paralelepípedos	0,60
Blocos de concreto	0,78
Concreto	0,95
Blocos vazados	0,03
Concreto poroso	0,005

Fonte: Adaptado de Araújo (1999) *apud* Marchioni e Silva (2011)

3.3.4 Caracterização do Solo

Segundo o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005), após o local para implantação das estruturas de infiltração ter sido considerado apropriado, deve-se determinar os parâmetros do solo para o dimensionamento, que são: a taxa de infiltração, a condutividade hidráulica saturada e a porosidade efetiva. O Manual recomenda que sejam feitos ensaios em campo para obtenção destes dados e sejam utilizados os menores valores obtidos como fator de segurança para o projeto. A seguir são descritos os valores típicos para cada parâmetro.

3.3.4.1 Taxa de Infiltração

A taxa de infiltração é uma medida da velocidade com que a água penetra no solo ou em outro meio poroso. Pode variar dependendo das características do solo, incluindo sua porosidade, permeabilidade, textura e umidade prévia e pode ser influenciada por fatores como a intensidade da chuva, a inclinação do terreno, a compactação do solo e a presença de cobertura vegetal.

Conforme menciona o Manual de Drenagem Urbana de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005), para áreas menores que 1000 m² podem ser utilizados os valores de taxa de infiltração segundo classificação do *Soil Conservation Service* (SCS, 1957 *apud* Porto Alegre, 2005) e para áreas maiores que 1000 m² deve ser realizado testes em campo.

Tabela 8 — Valores típicos de taxas de infiltração

Tipo de solo	Taxa de infiltração (mm/h)	
	lo	lb
A	254,0	25,40
B	203,2	12,70
C	127,0	6,35
D	76,2	2,54

Fonte: Adaptado de Porto Alegre (2005)

Segundo a classificação do *Soil Conservation Service* (SCS, 1957 *apud* Porto Alegre, 2005):

Solo A: solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila;

Solo B: solos menos permeáveis que o anterior. Solos arenosos menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média;

Solo C: solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.

Solo D: solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção e escoamento superficial.

3.3.4.2 Condutividade Hidráulica

A condutividade hidráulica é uma medida da taxa de fluxo de água que ocorrerá através do solo ou rocha por unidade de gradiente hidráulico, ou seja, descreve o quão facilmente a água pode se mover através de um meio poroso. A condutividade hidráulica é uma propriedade intrínseca do solo e é determinada pela geometria e continuidade dos poros preenchidos com água, sendo influenciada pela forma, quantidade, distribuição e conectividade dos poros. (MESQUITA e MORAES, 2004). A Tabela 9 apresenta os valores de condutividade hidráulica saturada segundo a classificação do *Soil Conservation Service* (SCS, 1957) citado por Barreto e Sousa (2003)

Tabela 9 — Condutividade hidráulica

Grupo hidrológico do solo	Características	Condutividade hidráulica Ksat (mm/h)
A	Solos arenosos, profundos e bem drenados	> 7,6 mm/h
B	Solos arenosos com pouca argila e solo orgânico	3,8 e 7,6 mm/h
C	Solos mais argilosos que aqueles do grupo B, com baixa permeabilidade	1,3 e 3,8 mm/h
D	Solos com argilas pesadas, muito impermeáveis	< 1,3 mm/h

Fonte: Adaptado de Barreto e Sousa (2003)

3.3.4.3 Porosidade Efetiva

A porosidade efetiva é expressa como uma porcentagem dos espaços vazios que podem ser preenchidos por fluidos, como água ou ar. Em outras palavras, é a fração dos poros que contribui para o armazenamento e o fluxo de fluidos dentro do material

poroso. A porosidade efetiva considera apenas os poros que estão conectados e que permitem que o fluido flua livremente dentro do material poroso. Urbonas e Stahre (1993) também trazem esses valores em seu estudo:

Tabela 10 — Porosidade Efetiva para materiais granulares

Material	Porosidade efetiva (%)
Rocha dinamitada - brita grossa	30
Cascalho de granulometria uniforme	40
Brita graduado (menores que 1/4")	30
Areia	25
Cascalho de jazida - seixo rolado	15 - 25

Fonte: Adaptado de Urbonas e Stahre (1993)

3.3.5 Fator de Segurança

A capacidade de infiltração do solo em uma estrutura de infiltração pode ser reduzida ao longo do tempo devido ao acúmulo de finos na interface solo/estrutura. Para amenizar este fator, é introduzido um coeficiente de segurança de minoração da vazão de saída. Esse coeficiente varia de acordo com a área a ser drenada e com as consequências de uma possível falha. A tabela 11 apresenta alguns valores sugeridos:

Tabela 11 — Fatores de segurança para o coeficiente de infiltração

Área a ser drenada (m ²)	Nenhum dano ou inconveniência	Inconveniência menor*	Danos à construção ou estrutura, inconveniência maior**
<100	1,5	2	10
100 a 1000	1,5	3	10
> 1000	1,5	5	10

Fonte: CIRIA (1996) *apud* Porto Alegre (2005)

4 METODOLOGIA

O presente estudo foi conduzido por meio de uma abordagem que incorporou simulações utilizando dados pluviométricos do município de Porto Alegre, considerando as características dos solos conforme a classificação do Serviço de Conservação de Solos (SCS, 1957 *apud* Porto Alegre, 2005). As informações sobre o condomínio foram obtidas pela autora deste trabalho, que possui vínculo empregatício com a empresa, aqui denominada como “Construtora A”, o que proporcionou uma perspectiva de análise de custos reais para a pesquisa. A escolha da obra investigada foi baseada na experiência direta da autora, que acompanhou determinado período de execução da referida obra.

4.1 ESTIMATIVA DE VAZÕES DE PROJETO

A determinação das vazões de projeto em dispositivos de controle de águas pluviais urbanas é um aspecto de grande importância para o dimensionamento de obras hidráulicas e diversas abordagens metodológicas estão disponíveis na literatura. Contudo, este estudo se concentra apenas ao “método da curva envelope” devido sua versatilidade e aplicabilidade em diferentes contextos urbanos. Esse método se destaca pela sua simplicidade, uma vez que requer apenas a avaliação de parâmetros hidrológicos de fácil estimativa.

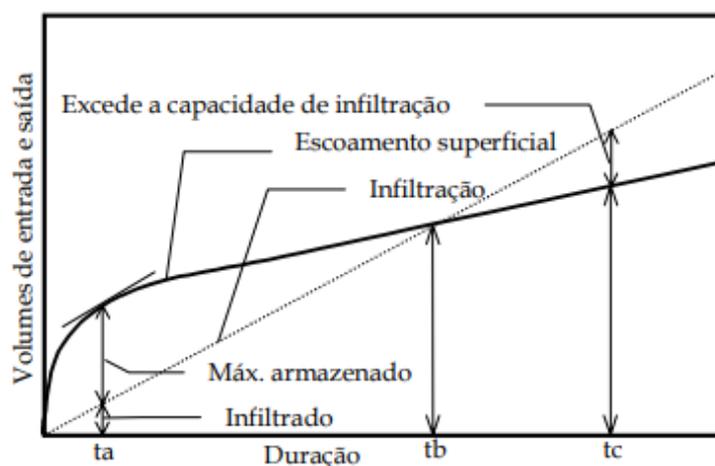
Segundo Souza (2002), o método “*rain-envelope-method*” ou “método envelope de chuva” apresentado por Urbonas e Stahre em 1993, baseia-se na determinação dos volumes acumulados de entrada e de saída do dispositivo. A máxima diferença entre esses volumes é a quantidade máxima de água que pode ser retida no dispositivo, considerando a porosidade do material de preenchimento.

A curva de volumes de entrada é determinada a partir da curva IDF correspondente à área de estudo, enquanto os volumes de saída, para dispositivos de infiltração, são obtidos considerando as características do solo, bem como a área disponível no dispositivo para a infiltração e percolação. Para dispositivos que

armazenam a água por determinado período e transferem a água para a rede pluvial, deve ser analisado qual será a vazão máxima de restrição.

Urbonas e Stahre (1993) adaptado do Manual de Drenagem de Porto Alegre (PORTO ALEGRE, 2005), apresentam na Figura 7 abaixo, uma explicação de forma visual de como funciona as curvas das vazões afluentes e efluentes pelo método da curva envelope. Durações com tempo t_a atingem o máximo volume a ser armazenado e até atingir a duração t_b , não há infiltração total do escoamento e o máximo volume necessário a ser armazenado é a máxima diferença entre as curvas. Para durações maiores que t_b , a capacidade de infiltração do solo supera o volume afluente do escoamento superficial e a água armazenada infiltra no solo.

Figura 7 — Curva envelope das vazões afluentes e efluentes



Fonte: Urbonas e Stahre (1993) *apud* Porto Alegre (2005)

Segundo Silveira e Goldenfum (2007), este método pode ser adaptado para qualquer sistema de drenagem compensatório que tenha a função de armazenar algum volume de água.

4.1.1 Volume Afluente

Considerando que estruturas deste estudo são utilizadas em sistemas de drenagem de pequena a média escala, pode-se considerar o Método Racional para o cálculo do escoamento superficial resultante das chuvas em uma área específica através da equação:

$$V_{AFLUENTE} = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \cdot t \quad (2)$$

$V_{AFLUENTE}$ = volume de entrada (m³)

C = coeficiente de escoamento (adimensional)

I = intensidade média da chuva (mm/h)

A = área de contribuição (ha)

t = duração da precipitação (h)

4.1.2 Volume Efluente

O volume efluente corresponde a um cenário de restrição de vazão. Para dispositivos de infiltração, de acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2015), a vazão efluente é função da capacidade de infiltração do solo. Considerando a vazão de saída constante, pode-se seguir com a seguinte equação:

$$V_{EFLUNTE}(t) = \frac{K_{SAT}}{FS} \cdot A_{perc} \cdot t_p \quad (3)$$

$V_{EFLUNTE}(t)$ = Volume de saída (m³)

FS = Fator de segurança (colmatação)

K_{SAT} = Condutividade hidráulica saturada no solo (m/s)

A_{perc} = Área de infiltração ou percolação (m²)

t_p = Tempo de percolação (s)

Para dispositivos que não são dimensionados com a função de infiltração total da água no solo, a vazão de saída pode ser restrita a alguns fatores como: um cenário de pré-urbanização ou um cenário urbanizado que não cause alagamentos ou ainda devido às limitações do local. Esses fatores também podem ser sintetizados em uma determinação legal que englobe as medidas a serem cumpridas.

O volume de armazenamento será a máxima diferença entre as curvas de volume de entrada ($V_{AFLUENTE}$) e o volume de saída do dispositivo ($V_{EFLUENTE}$), conforme equação:

$$V_{ARMAZENAMENTO} = \text{máx} (V_{AFLUENTE} - V_{EFLUENTE}) \quad (4)$$

Por fim, deve ser feito uma análise comparativa entre o volume de projeto V_{proj} obtido pela estimativa das dimensões iniciais e o volume de armazenamento $V_{SOLICITADO}$ calculado pela curva envelope, se:

$V_{proj} \gg V_{SOLICITADO}$: deve se reduzir as dimensões do dispositivo

$V_{proj} < V_{SOLICITADO}$: deve se aumentar as dimensões do dispositivo

$V_{proj} \geq V_{SOLICITADO}$: fim do processo de dimensionamento

4.2 VAZÃO MÁXIMA DE SAÍDA DO LOTE

A vazão de restrição é a máxima vazão por unidade de área que um determinado lote pode descarregar na rede pública de pluviais

O valor da vazão máxima de saída, no caso de Porto Alegre, é determinado pelo Decreto Municipal nº 15.371 de 2006 e estabelece como o valor de 20,8 l/s.ha, Para cumprir com este requisito, o proprietário de cada lote deverá implantar um sistema de controle de drenagem na fonte. É importante observar que este decreto é válido apenas para empreendimentos construídos após a promulgação do Decreto Municipal

15.371:2006 e que tenham uma área de lote maior que 600 m². Para terrenos com área menor que 600 m² e para habitações unifamiliares esta restrição de vazão máxima pode ser desconsiderada.

Para áreas de até 100 ha deve-se determinar a vazão máxima de saída segundo a equação:

$$Q_{pd}=20,8 \cdot A \quad (5)$$

Q_{pd} = Vazão de pré-dimensionamento (L/s);

A = Área do lote ou loteamento (ha);

4.3 ANÁLISE DE CUSTOS

A análise de custos será feita a partir do levantamento dos principais materiais e serviços especificados no dimensionamento e necessários para execução. Serão utilizados os valores dos insumos com base nas tabelas SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) referente ao mês de julho de 2023 para o estado do Rio Grande do Sul e os valores de serviço serão considerados os disponibilizados nas tabelas da SMOV (Secretaria Municipal de Obras e Viação) de Porto Alegre referente ao mês de abril de 2016 (SMOV, 2016) corrigidos para valores de 2023 com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) conforme dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os valores de serviço descritos não possuem inclusão dos Benefícios e Despesas Indiretas.

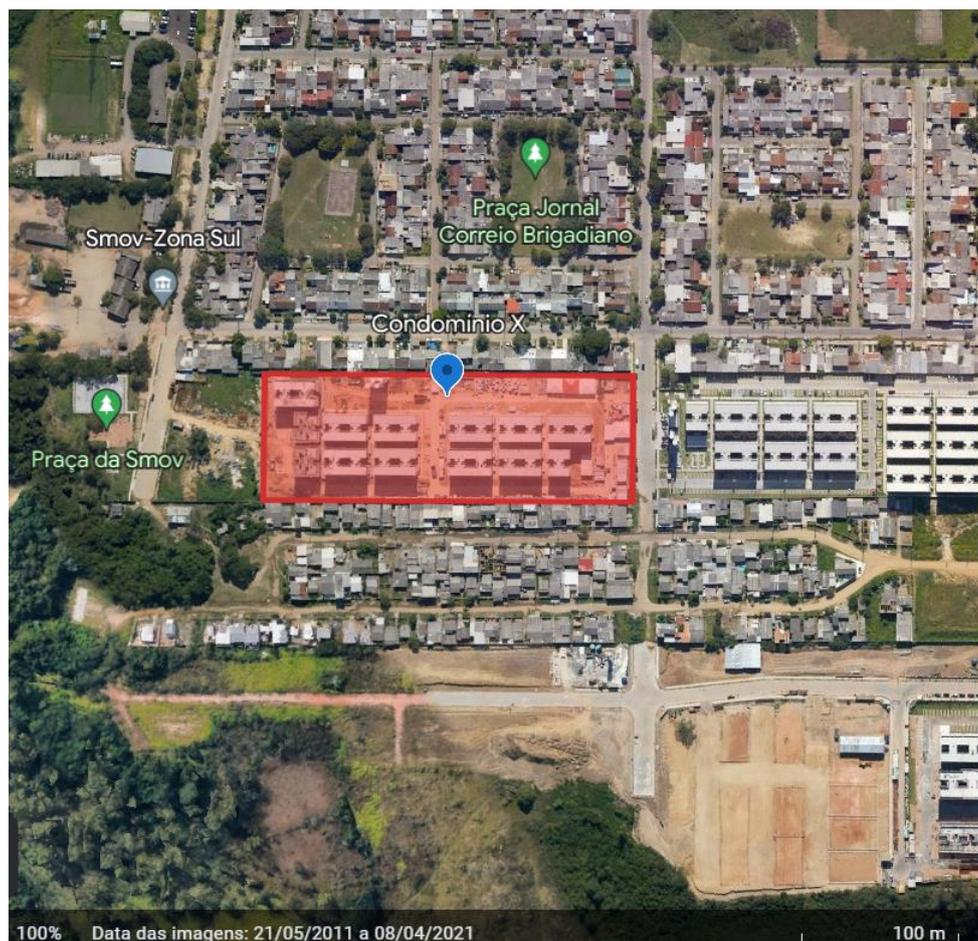
5 ESTUDO DE CASO

Nesta etapa serão apresentadas as características da área de estudo, além dos dados para dimensionamento hidráulico dos dispositivos.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Para este estudo, foi selecionado um lote residencial localizado no bairro Restinga no município de Porto Alegre/RS. Na figura 8 é apresentada a localização do empreendimento e o seu entorno.

Figura 8 — Localização da área de estudo

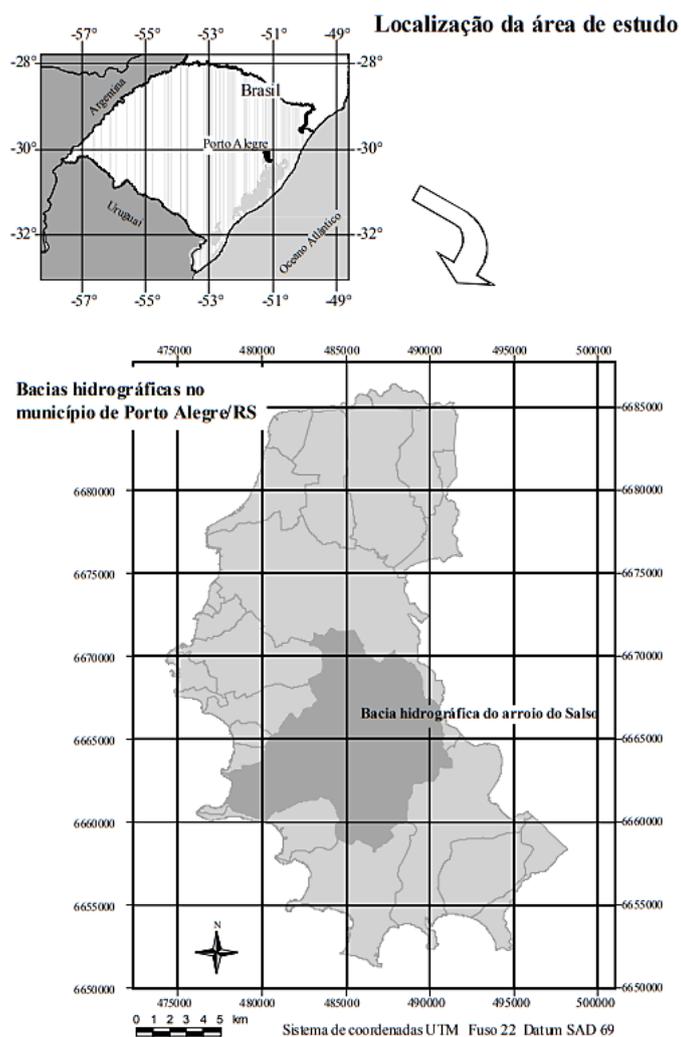


Fonte: Adaptado de Google Earth acesso em julho de 2023

O bairro Restinga, local de inserção do empreendimento em estudo, está situado no extremo sul de Porto Alegre, e pertence à Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso. Esta bacia se destaca como a maior entre todas do município, embora ainda apresente uma ocupação relativamente baixa e seja marcada por atividades predominantemente rurais, essa região está gradualmente se tornando um alvo em potencial para expansão devido ao esgotamento de espaços livre em outras regiões da área urbana do município.

Além disso, essa tendência tem sido reforçada pelas modificações propostas no Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano e Ambiental de 1999, que redefiniu os limites da área rural da cidade. (CAMARGO, 2010).

Figura 9 — Localização da bacia hidrográfica da área de estudo



Fonte: Hasenack, Heinrich et al (2008) *apud* Burkt e Fujimoto (2009)

5.2 CARACTERÍSTICAS DO EMPREENDIMENTO

O empreendimento analisado é composto por 500 apartamentos, distribuídos em 25 blocos com 5 pavimentos em um condomínio residencial multifamiliar com área total do terreno de 18.958,45 m², sendo 11.037 m² de área impermeável das coberturas, 3.914 m² de área permeável de gramado e 4.006 m² de área de pavimentação.

Para determinar o coeficiente de escoamento médio, foram consideradas as divisões do terreno conforme o seu uso e seus respectivos coeficientes de escoamento, apresentado na Tabela 12.

Tabela 12 — Definição do coeficiente de escoamento das áreas do empreendimento

DIVISÕES DE ÁREAS DO EMPREENDIMENTO	ÁREA (m ²)	C
Área total do terreno	18958	-
Área impermeável - coberturas	11037	0,95
Área permeável - gramado	3914	0,25
Área pavimentação	4006	1

Fonte: elaborado pelo autor

5.3 PROJETO DO RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO

Foi projetado para o condomínio em estudo, um reservatório de detenção em estrutura de concreto a seco, locado embaixo da pavimentação conforme ilustra a Figura 10.

O reservatório de detenção executado no condomínio possui comprimento de 127 m com 4 m de largura e altura de 1,3 m. Sua capacidade de volume de armazenamento é de 512,57 m³.

Para poder fazer uma análise comparativa entre os dispositivos de armazenamento, será feita uma nova verificação hidráulica a partir da aplicação do método curva envelope.

Figura 10 - Locação do reservatório de detenção no condomínio



Fonte: Construtora A adaptado pelo autor

5.4 PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DE INFILTRAÇÃO

A proposta visa substituir a pavimentação convencional em concreto por uma alternativa em pavimentação permeável. Nesse sentido, a área destinada à pavimentação permeável permanecerá inalterada em relação à pavimentação, abrangendo os mesmos 4006m² da pavimentação convencional.

Também considera a implantação de 04 trechos de estruturas de trincheira de infiltração que recolhem as águas provenientes do gramado do condomínio. A definição das dimensões iniciais das trincheiras foi baseada no local de implantação das mesmas onde buscou-se posicionar as estruturas de maneira que não interferissem no *layout* do empreendimento. Na tabela 13 abaixo são apresentadas as dimensões das trincheiras:

Tabela 13 — Proposta das dimensões das trincheiras

	Altura (m)	Comprimento (m)	Largura (m)
Trincheira 01	1,2	26,5	1,5
Trincheira 02	1,2	26,5	1,5
Trincheira 03	1,2	26,5	1,5
Trincheira 04	1,2	26,5	1,5

Fonte: elaborado pelo autor

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 DIMENSIONAMENTO DOS DISPOSITIVOS DE ARMAZENAMENTO

O comportamento dos dispositivos foi observado para o município de Porto Alegre/RS. As precipitações foram calculadas com base na equação Intensidade-Duração-Frequência (IDF) do posto de observação do IPH, recomendada para o bairro Restinga e para um tempo de retorno de 10 anos, conforme equação 6:

$$i = \frac{509,859T^{0,196}}{(t+10)^{0,72}} \quad (6)$$

Para o dimensionamento do volume dos reservatórios foi utilizado o método Curva-Envelope aplicado para 3 diferentes coeficientes de condutividade hidráulica saturada segundo a classificação hidrológica dos solos do *Soil Conservation Service* (SCS, 1957 *apud* Porto Alegre, 2005) (7,2 mm/h, 3,8 mm/h, 1,3 mm/h) apresentados neste estudo na seção 3.3.4.2 Condutividade Hidráulica, os quais, ainda foram corrigidos por um fator de segurança igual a 3, recomendado para correção da colmatação que ocorre no solo com o passar do tempo.

6.1.1 Pré-dimensionamento da Pavimentação Permeável:

As dimensões iniciais do projeto hidráulico de um pavimento permeável são dadas em função da área e da altura do reservatório disponíveis para implantação, conforme abaixo:

$$V_{proj} = A_{pav} \cdot H_{res} \cdot \emptyset \quad (7)$$

V_{proj} = volume da camada de reservatório de armazenamento (m³)

A_{pav} = área da pavimentação disponível para implantação (m²)

H_{res} = altura do reservatório (m)

\emptyset = porosidade do material de enchimento (%)

Para o pré-dimensionamento do pavimento permeável, serão considerados as dimensões iniciais de área da pavimentação como $A_{pav} = 4006 \text{ m}^2$ e a altura do reservatório como $H_{res} = 0,40 \text{ m}$, e considerado o preenchimento da camada reservatório com cascalho, que possui porosidade de 40%. Assim, tem-se que o volume de projeto da camada de armazenamento é de $640,96 \text{ m}^3$.

As áreas de contribuição consideradas para o cálculo do volume afluente são da própria pavimentação e da área da cobertura dos blocos do condomínio, sendo atribuídos os seguintes valores de escoamento superficial:

Tabela 14 — Escoamento superficial das áreas de contribuição do pavimento permeável

Local	Área (m ²)	C
Cobertura dos blocos (m ²)	11.037,5	0,95
Pavimentação (m ²)	4.006,0	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor

O cálculo do escoamento ponderado utilizado na pavimentação é determinado pela equação:

$$C_{médio PAV} = \frac{(A_{blocos} \times C_{blocos}) + (A_{pav} \times C_{pav})}{A_{blocos} + A_{pav}} \quad (8)$$

Onde a área de contribuição é o somatório da área das coberturas dos blocos e da área da pavimentação e o resultado do coeficiente de escoamento para a pavimentação é de $C_{médio PAV} = 0,96$.

6.1.2 Pré-dimensionamento da Trincheira de Infiltração

No caso da trincheira, a área de infiltração corresponde às áreas laterais da estrutura, que pode ser obtida através da equação 9:

$$A_{perc} = 2. h. (b + L) \quad (9)$$

A_{perc} = área de percolação da trincheira, ou seja, área lateral (m²)

h = altura da trincheira (m)

b = largura da trincheira (m)

L = comprimento da trincheira (m)

Deve-se estimar as dimensões iniciais da trincheira para determinar o volume de projeto de armazenamento do dispositivo, conforme equação 10:

$$V_{proj} = L. h. b \quad (10)$$

V_{proj} = Volume da trincheira (m³);

L = comprimento da trincheira (m);

h = altura da trincheira (m);

b = largura da trincheira (m);

O material de preenchimento escolhido para a trincheira foi o cascalho, que possui porosidade de 40%. Considerando as dimensões das 04 trincheiras, é obtido o volume de armazenamento de 76,32 m³. Na Tabela 15 são apresentados os resultados dos volumes obtidos.

Tabela 15 — Dimensões das trincheiras de infiltração

	h (m)	L (m)	b (m)	Aperc (m ²)	V (m ³)
Trincheira 01	1,2	26,5	1,5	67,2	47,7
Trincheira 02	1,2	26,5	1,5	67,2	47,7
Trincheira 03	1,2	26,5	1,5	67,2	47,7
Trincheira 04	1,2	26,5	1,5	67,2	47,7
Área percolada total (m ²)					268,8
V proj escavação (m ³)					190,8
V proj reservatório (m ³)					76,32
POROSIDADE (%)					40%

Fonte: Elaborado pelo autor

6.1.3 Pré-dimensionamento do Reservatório de Detenção

Como o reservatório de detenção tem sua função apenas em amortecer as águas pluviais e não fará a função de infiltrar no solo, as premissas para o seu dimensionamento hidráulico pelo método da curva envelope envolve apenas dados pluviométricos da região e a restrição do volume máximo de saída, previamente estipulado em 20,8 l/s/ha para o município de Porto Alegre.

As áreas de contribuição consideradas para o cálculo do volume afluyente são correspondentes a área de todo o condomínio, sendo atribuídos os valores de escoamento superficial, conforme Tabela 12 da seção 5.2 deste trabalho.

O coeficiente médio ponderado foi obtido pela equação 11 abaixo e resultou valor de $C = 0,82$.

$$C_{\text{médio RES.DET}} = \frac{(A_{\text{blocos}} \times C_{\text{blocos}}) + (A_{\text{pav}} \times C_{\text{pav}}) + (A_{\text{grama}} \times C_{\text{grama}})}{A_{\text{blocos}} + A_{\text{pav}} + A_{\text{grama}}} \quad (11)$$

Ao contrário dos dispositivos de infiltração que precisaram de uma estimativa de dimensões iniciais para poder fazer o dimensionamento hidráulico, o reservatório de

detenção, pelo método da curva envelope, define as dimensões a partir do volume solicitado para armazenamento. Assim, teremos a equação 12:

$$A_{PLANTA} = \frac{V}{h} \quad (12)$$

Onde:

A_{PLANTA} = Área em planta para implantação do reservatório (m²)

V = Volume de armazenamento necessário (m³)

h = Altura do reservatório (m)

Para este pré-dimensionamento, foi considerado a mesma posição do reservatório de detenção instalado no Condomínio e feito ajustes em suas dimensões, devido ao volume de armazenamento obtido pelo método curva envelope. Assim, foi mantido a sua largura em 4m e sua altura em 1,3 m, o que resultou em um comprimento de 130 m e um volume de armazenamento de projeto de 676 m³

6.1.4 Volume de Armazenamento Solicitado

O volume de armazenamento necessário dos dispositivos pelo método curva envelope é dado pela máxima diferença entre as vazões de entrada e saída.

Para os dispositivos de infiltração deste estudo, pavimentação permeável e trincheira de infiltração, o cálculo do volume efluente considerando infiltração total apresentou resultados ineficientes. Optou-se então pela implantação destas estruturas com infiltração parcial e utilização da vazão máxima de saída de 20,8 l/s/ha permitida em Porto Alegre. Os resultados dos volumes dos reservatórios dos dispositivos de infiltração são apresentados na Tabela 16 a seguir e são apresentados os resultados completos no Apêndice A.

Tabela 16 — Volume necessário para armazenamento nos dispositivos de infiltração

	PAVIMENTO PERMEÁVEL	TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO
K sat (mm/h)	V solicitado (m³)	V solicitado (m³)
7,6	568,66	39,83
3,8	578,54	40,56
1,3	585,23	41,06

Fonte: Elaborado pelo autor

Para manter uma análise comparativa entre os dispositivos de infiltração e o dispositivo de detenção, foi feito o dimensionamento hidráulico com o mesmo método para o reservatório de detenção, a fim de verificar se os volumes de armazenamento são compatíveis para ambas as propostas. Assim, obteve-se para o reservatório de detenção o volume de armazenamento solicitado de 649,52 m³, apresentando resultado compatível com os volumes dimensionados para os dispositivos de infiltração, que somam na hipótese de Ksat=1,3 mm/h o valor de 626,29 m³.

6.2 ANÁLISE DO DIMENSIONAMENTO

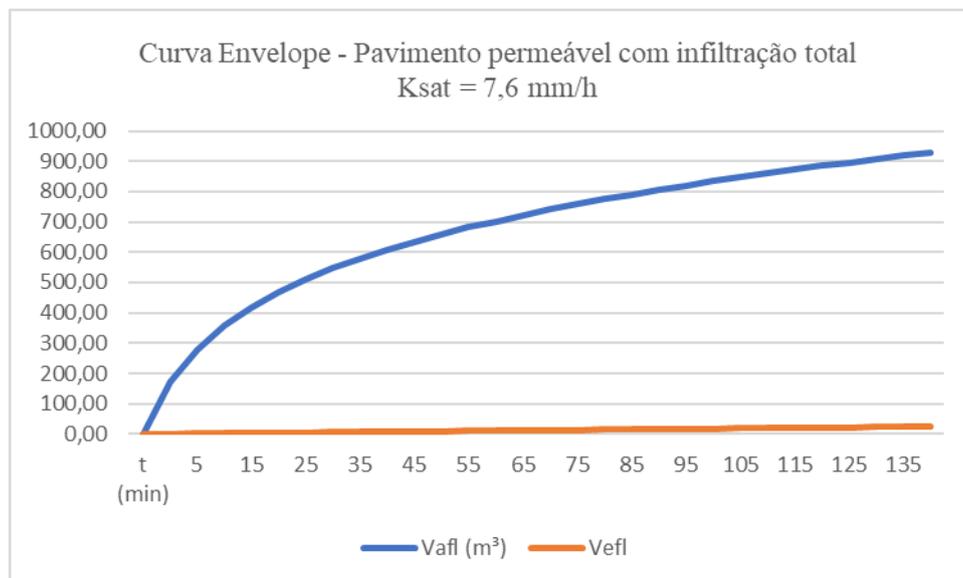
Este estudo baseou-se no método curva envelope para determinar as vazões máximas necessárias de armazenamento dos dispositivos de infiltração e detenção.

Foram considerados 3 diferentes valores de condutividade hidráulica saturada do solo segundo a classificação *Soil Conservation Service* SCS apresentados neste estudo no capítulo 3.3.4.2 para os solos do tipo A, B e C, a fim de se obter resultados para uma variedade de solos que possam contemplar o município de Porto Alegre. Os solos tipo D, que possuem valores de condutividade hidráulica saturada inferiores a Ksat = 1,3 mm/h não foram considerados neste trabalho, pois não é recomendado a implantação de dispositivos de infiltração nestes solos.

Verificou-se que a vazão efluente em que considera apenas infiltração no solo não foi o suficiente para dimensionar os reservatórios em um tamanho adequado ou que atenda o tempo necessário para esvaziamento.

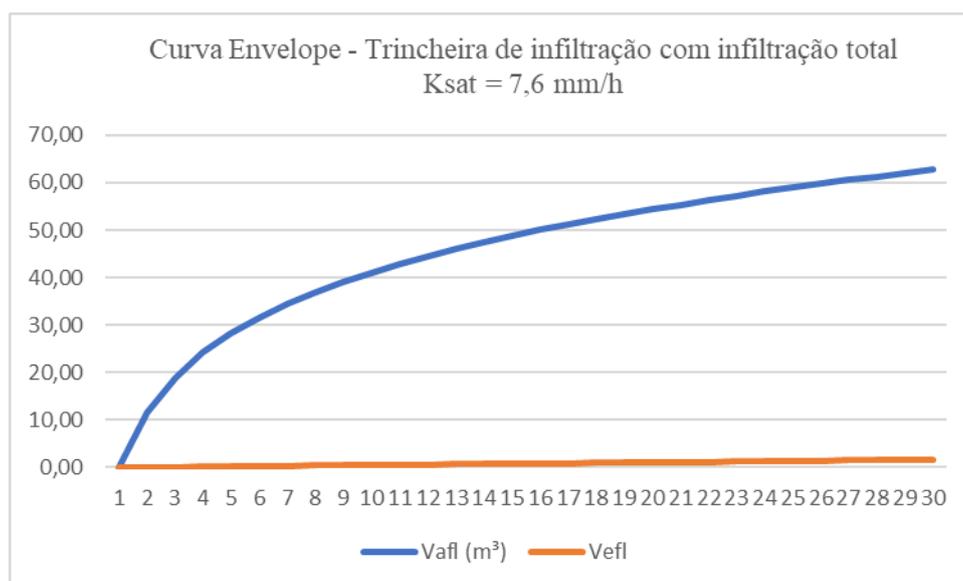
Observa-se nas Figuras 11 e 12 abaixo que as curvas de vazão afluente e efluente não se aproximam em um período de 120 minutos, tornando inviável a proposta que considera que os dispositivos atendam a demanda apenas por infiltração.

Figura 11 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração total



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 12 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração total

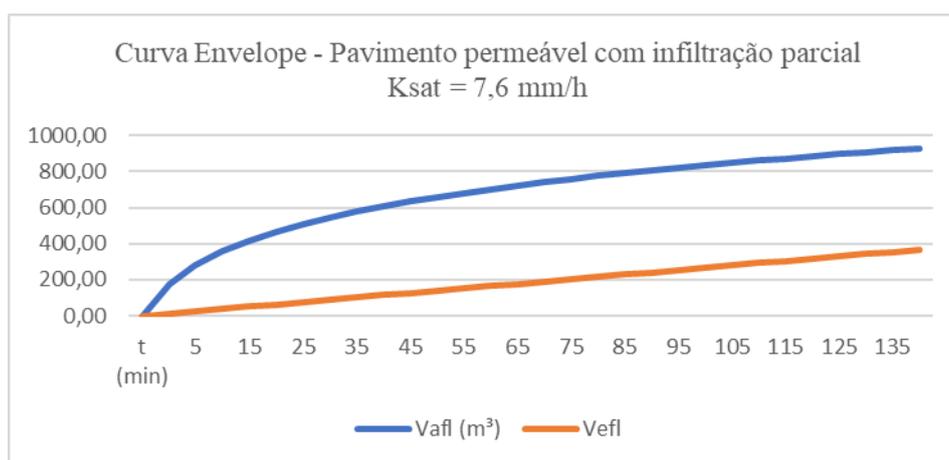


Fonte: Elaborado pelo autor

Foi necessário então somar à vazão efluente a vazão de saída máxima permitida em Porto Alegre de 20,8 l/s.ha e admitir que as propostas dos dispositivos ocorreriam por infiltração parcial. Obteve-se então as curvas apresentadas nas figuras a seguir.

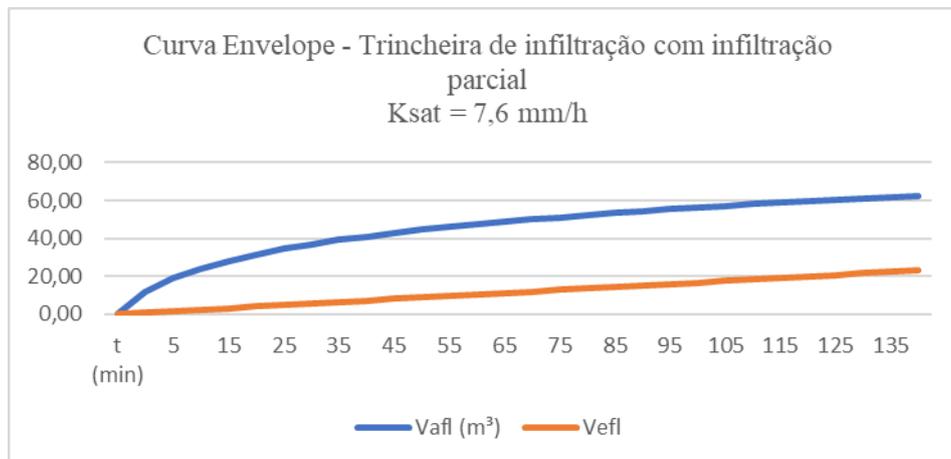
As Figuras 13 e 14 representam as curvas de vazão afluente e efluente para os dispositivos de pavimentação permeável e trincheira de infiltração, respectivamente. Nessa análise foi utilizado o valor de condutividade hidráulica saturada $K_{sat} = 7,6 \text{ mm/h}$, que, como já mencionado nesta pesquisa, representa um solo do Tipo A, considerado um solo arenoso, profundo e bem drenado. Para esta hipótese, verifica-se que as curvas atingem uma diferença de volume máxima de $568,66 \text{ m}^3$ para o pavimento permeável no tempo de duração $t = 115 \text{ min}$ e de $39,83 \text{ m}^3$ no tempo de duração $t = 125 \text{ min}$ para as trincheiras de infiltração. Quando as curvas afluente e efluente se aproximam após atingir a máxima diferença entre elas, significa que o dispositivo está operando de maneira eficaz para gerenciar o escoamento da água da chuva, pois indica que está retendo, armazenando e infiltrando a água pluvial adequadamente. É um indicador positivo de que o sistema de drenagem está funcionando conforme o planejado.

Figura 13 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 7,6 \text{ mm/h}$



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 14 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 7,6 \text{ mm/h}$

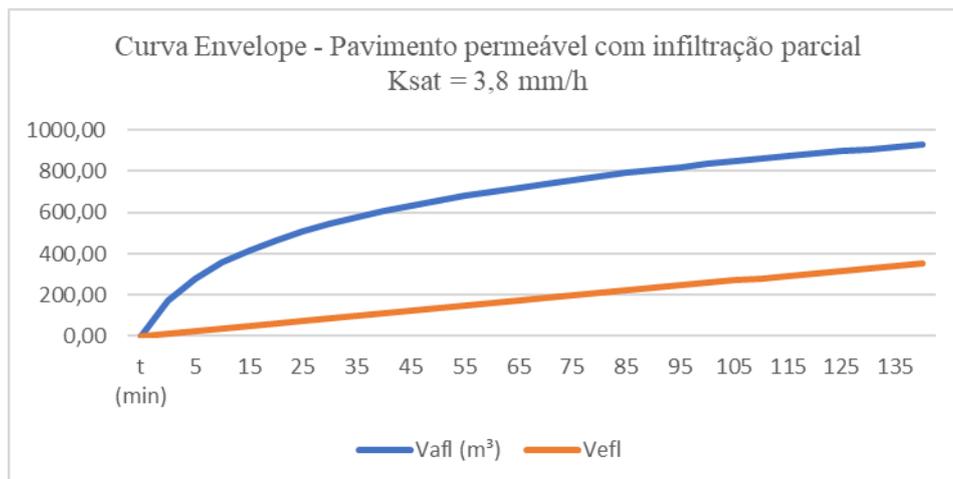


Fonte: Elaborado pelo autor

Para verificar demais condições de solo, foi feita a mesma análise para os solos do tipo B e C, considerando os valores de condutividade hidráulica saturada de $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$ e $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$, respectivamente.

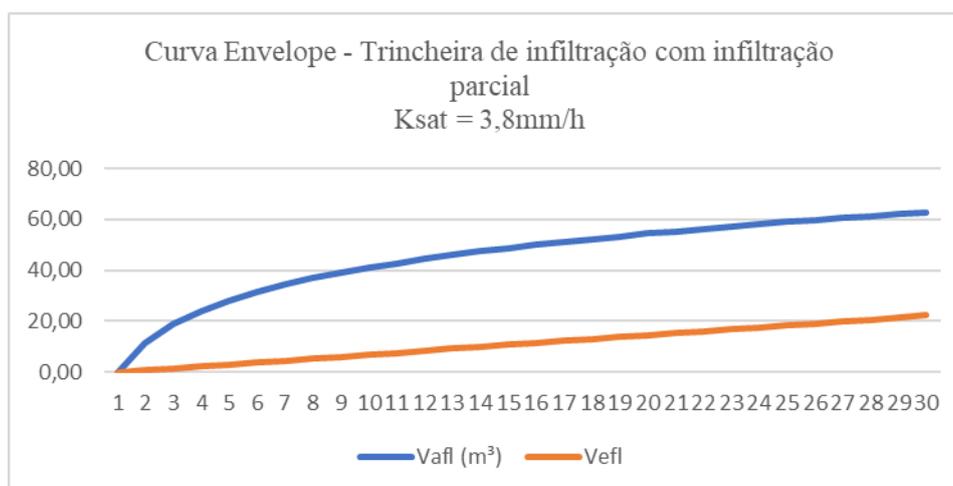
As Figuras 15 e 16 representam as curvas afluentes e efluentes para os dispositivos de pavimento permeável e trincheira de infiltração, agora analisados para o $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$, apresentando resultados semelhantes com uma diferença de volume máxima de $578,54 \text{ m}^3$ para o pavimento permeável no tempo de duração $t = 120 \text{ min}$ e de $40,56 \text{ m}^3$ no tempo de duração $t = 130 \text{ min}$ para as trincheiras de infiltração.

Figura 15 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$



Fonte: Elaborado pelo autor

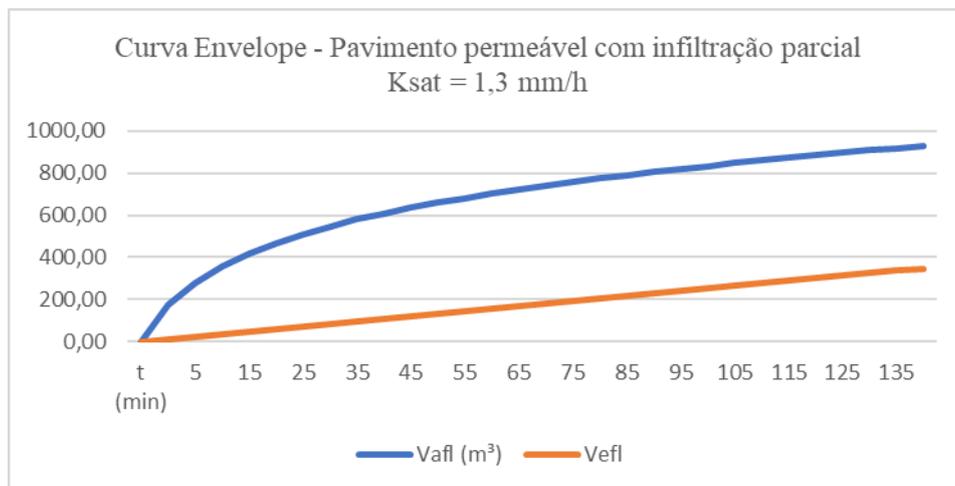
Figura 16 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 3,8 \text{ mm/h}$



Fonte: Elaborado pelo autor

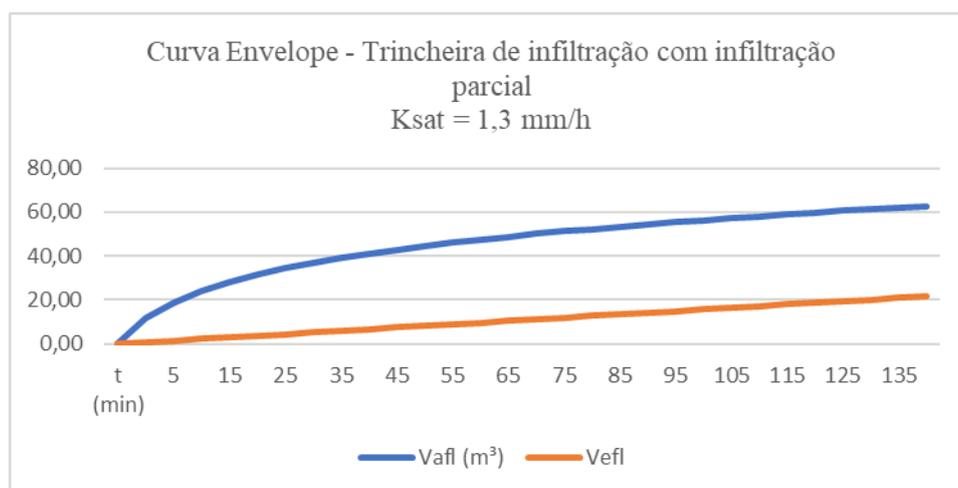
Por fim foram analisados os mesmos dispositivos para o valor de condutividade hidráulica $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$, conforme as Figuras 17 e 18 a seguir e obtidos os valores de diferença de volume máxima de $585,23 \text{ m}^3$ para o pavimento permeável no tempo de duração $t = 125 \text{ min}$ e de $41,06 \text{ m}^3$ no tempo de duração $t = 135 \text{ min}$ para as trincheiras de infiltração.

Figura 17 — Curva Envelope - Pavimento permeável com infiltração parcial e $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 18 — Curva Envelope - Trincheira com infiltração parcial e $K_{sat} = 1,3 \text{ mm/h}$

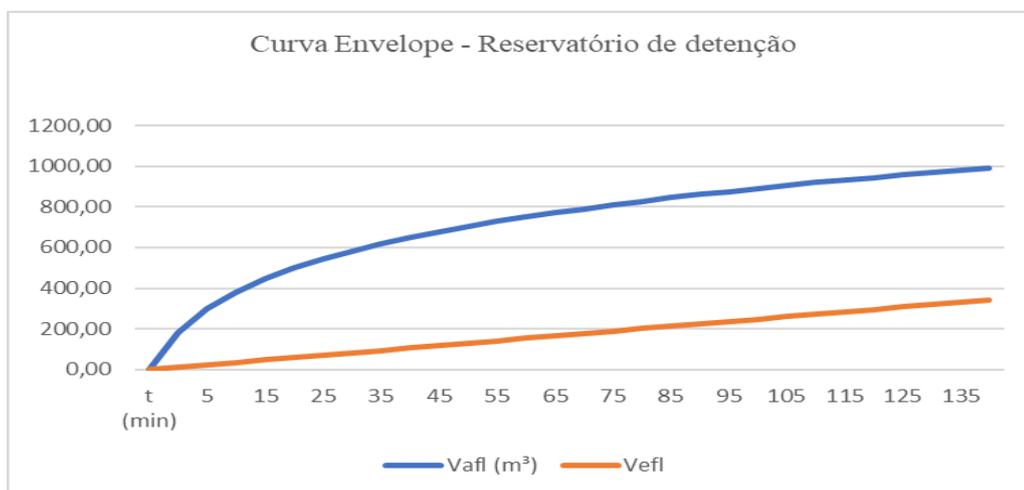


Fonte: Elaborado pelo autor

Também foi dimensionado, pelo método curva envelope, o volume solicitado de armazenamento para o reservatório de detenção. Conforme exposto anteriormente, este dispositivo será do tipo enterrado em concreto e funcionará a seco, ou seja, deve prever o esvaziamento completo da água para a rede pluvial pública, sendo a vazão máxima de saída de 20,8 l/s/ha. A máxima diferença entre a curva afluyente e efluyente resultou no

volume solicitado de armazenamento de 649,32 m³ e ocorre no t = 135 min, conforme Figura 19 a seguir. Os resultados completos são apresentados no Apêndice B.

Figura 19 — Curva Envelope: reservatório de detenção



Fonte: Elaborado pelo autor

6.3 ANÁLISE DE CUSTOS

6.3.1 Dispositivos de Infiltração

Os custos envolvendo os materiais do pavimento permeável e das trincheiras de infiltração foram obtidos a partir do levantamento de quantidades do dimensionamento hidráulico e foram utilizados os valores encontrados na tabela SINAPI referente ao mês de julho de 2023. Para a mão de obra foram utilizados os valores da tabela de preços para obras viárias da Prefeitura Municipal de Porto Alegre referente ao mês de abril de 2016, por considerar as unidades dos serviços em m³ e m², corrigidos para valores de 2023 com base no Índice Nacional de Preços ao Consumidor (INPC) conforme dados fornecidos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

O custo da pavimentação permeável resultou em um valor total de R\$ 784.609,31 para a área de 4006 m² de pavimentação proposta neste estudo e o custo

total das 04 trincheiras resultou em um valor total de R\$ 43.790,76. As composições dos principais custos dos dispositivos estão apresentadas na Tabela 17 e 18 abaixo:

Tabela 17 — Composição de custos da pavimentação permeável

PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL					
CÓD SINAPI	Materiais	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
4013	Filtro geotêxtil	m ²	4006	R\$ 8,90	R\$ 35.653,40
38052	Dreno com tubo furado DN100 MM	m	667,7	R\$ 11,85	R\$ 7.911,85
4722	Cascalho de cava	m ³	1602,4	R\$ 41,16	R\$ 65.954,78
367	Areia grossa DN máx 9,5mm	m ³	240,36	R\$ 86,11	R\$ 20.697,40
36170	Blocos de concreto retangular 20x10cm espessura 8cm	m ²	4006	R\$ 60,00	R\$ 240.360,00
-	sub-total:				R\$ 370.577,43
CÓD SMOV	Mão-de-obra	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
024	Escavação mecânica em terra	m ³	1161,74	R\$ 14,42	R\$ 16.751,95
046	Assentamento de base em brita	m ³	1602,4	R\$ 140,79	R\$ 225.608,29
067	Assentamento de blocos de concreto	m ²	4006	R\$ 38,79	R\$ 155.388,75
196	Transporte de material bota-fora	m ³	1161,74	R\$ 14,02	R\$ 16.282,89
-	sub-total:				R\$ 414.031,88
-	Total geral:				R\$ 784.609,31

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 18 — Composição de custos da trincheira de infiltração

TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
CÓD SINAPI	Materiais	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
4013	Filtro geotêxtil	m ²	268,8	R\$ 8,90	R\$ 2.392,32
4722	Cascalho de cava	m ³	190,8	R\$ 41,16	R\$ 7.853,33
38052	Dreno com tubo furado DN100 MM	m	106	R\$ 11,85	R\$ 1.256,10
-	sub-total:				R\$ 11.501,75
CÓD SMOV	Mão-de-obra	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
024	Escavação mecânica em terra	m ³	190,8	R\$ 14,42	R\$ 2.751,28
046	Assentamento de base em brita	m ³	190,8	R\$ 140,79	R\$ 26.863,49
196	Transporte de material bota-fora	m ³	190,8	R\$ 14,02	R\$ 2.674,24

Continuação					
-		sub-total:			R\$ 32.289,02
-		Total geral:			R\$ 43.790,76

Fonte: Elaborado pelo autor

Uma consideração na análise dos custos dos dispositivos de infiltração que deve ser feita é o fato do custo da pavimentação permeável englobar o custo da pavimentação convencional, pois, o pavimento permeável além de funcionar como reservatório, também terá a função de via de tráfego interno do condomínio. Então, para uma análise comparativa, é necessário desconsiderar a camada de revestimento do pavimento permeável e apresentar apenas os custos relacionados ao controle pluvial. Na Tabela 19 a seguir é apresentado a composição de custos do pavimento permeável sem a camada de revestimento (blocos de concreto e areia grossa) e o resultado foi o custo de R\$ 368.157,11.

Tabela 19 — Composição de custos da pavimentação permeável sem a camada de revestimento

PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL					
CÓD SINAPI	Materiais	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
4013	Filtro geotêxtil	m ²	4006	R\$ 8,90	R\$ 35.653,40
38052	Dreno com tubo furado DN100 MM	m	667,7	R\$ 11,85	R\$ 7.911,85
4722	Cascalho de cava	m ³	1602,4	R\$ 41,16	R\$ 65.954,78
-	sub-total:				R\$ 109.520,03
CÓD SMOV	Mão-de-obra	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
024	Escavação mecânica em terra	m ³	1161,74	R\$ 14,42	R\$ 16.752,29
046	Assentamento de base em brita	m ³	1602,4	R\$ 140,79	R\$ 225.601,90
196	Transporte de material bota-fora	m ³	1161,74	R\$ 14,02	R\$ 16.282,89
-	sub-total:				R\$ 258.637,08
-	Total geral:				R\$ 368.157,11

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3.2 Dispositivo de detenção

O custo referente ao reservatório de detenção foi obtido a partir do levantamento dos quantitativos do pré-dimensionamento da estrutura apresentados na seção 6.1.3 deste trabalho e resultou no valor de R\$ 752.472,95. Os valores são apresentados na Tabela 20 a seguir.

Tabela 20 — Composição de custos do reservatório de detenção

RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO					
CÓD SMOV	Materiais	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
235	Concreto Armado Fck 22mpa Com Forma Para Galeria	m ³	343,65	R\$ 2.133,70	R\$ 733.250,45
-	sub-total:				R\$ 733.250,45
CÓD SMOV	Mão-de-obra	Unid.	Quant.	Preço Unit. (R\$)	Preço Total (R\$)
024	Escavação mecânica em terra	m ³	676,00	R\$ 14,42	R\$ 9.747,72
196	Transporte de material bota-fora	m ³	676,00	R\$ 14,02	R\$ 9.474,78
-	sub-total:				R\$ 19.222,50
-	Total geral:				R\$ 752.472,95

Fonte: Elaborado pelo autor

6.3.3 Comparativo de custos

Após análise dos resultados, foi possível verificar que os custos com a implantação de dispositivos de infiltração apresentaram uma economia de até 45% em relação ao reservatório de detenção para as condições e limitações impostas neste trabalho. A Tabela 21 a seguir apresenta um resumo dos principais resultados apontados neste estudo.

Tabela 21 — Resumo comparativo de custos

	Dispositivos de Infiltração		Dispositivo de detenção
	Pavimento permeável	Trincheiras de Infiltração	Reservatório de detenção
Volume armazenado de projeto (m ³)	640,96	76,32	676,00
Volume armazenado solicitado (m ³)	585,23	41,06	649,32
Custo total de cada dispositivo (R\$)	R\$ 368.157,11	R\$ 43.790,76	R\$ 752.472,95
Custo Total de cada proposta (R\$)	R\$ 411.947,88		R\$ 752.472,95
Custo Total/ m ³ armazenado solicitado	R\$ 657,76		R\$ 1.158,85

Fonte: Elaborado pelo autor

7 CONCLUSÃO

As técnicas compensatórias em drenagem urbana são medidas que visam restabelecer o ciclo hidrológico da bacia por meio da recuperação das características naturais promovendo a infiltração do escoamento superficial no solo. Enquanto os reservatórios de retenção a seco são estruturas que funcionam apenas como contenção ao problema real de inundações, pois seu sistema tem como principal função amenizar o pico de vazão ao armazenar temporariamente as águas pluviais e, em seguida, permite o escoamento para rede de drenagem pluvial convencional.

Com o objetivo de trazer mais visibilidade para este assunto, este trabalho fez uma análise dos sistemas de drenagem de pavimentação permeável e trincheira de infiltração em um cenário fictício que sugere a implantação destes dispositivos ao em vez do reservatório de retenção e compara os sistemas quanto a viabilidade técnica e ao custo.

Para desenvolver este estudo, foi preciso definir os parâmetros de chuva da região, aplicar o método curva-envelope para definir as vazões de entrada e saída do loteamento e estabelecer os critérios para dimensionamento hidráulico das estruturas. Foi observado que para as condições aplicadas, os dispositivos não eram capazes de infiltrar totalmente o escoamento gerado, impondo que a proposta inicial fosse alterada para infiltração parcial, utilizando o limite de vazão máxima permitido para o município de Porto Alegre.

Após as verificações de dimensionamento hidráulico e levantamento de quantitativos das estruturas estudadas, obteve-se o resultado de que a implantação dos dispositivos de infiltração apresentou uma economia de 45% em relação ao dispositivo de retenção.

Ainda, destaca-se a importância da integração de dispositivos de infiltração em áreas permeáveis como parte do planejamento urbano. Além de mitigar os riscos de inundações, esses dispositivos desempenham um papel fundamental na recarga do lençol freático, acrescentando um valor significativo à gestão sustentável da água.

Com os resultados apresentados, espera-se que este estudo não apenas tenha ampliado a compreensão sobre drenagem urbana, mas também estimulado uma

abordagem mais consciente e comprometida dos profissionais da área e da comunidade em geral para que considerem a implementação de propostas como as discutidas neste trabalho em projetos urbanos.

Ao incorporar as técnicas compensatórias de drenagem, não só se contribuirá para a prevenção de problemas decorrentes das chuvas intensas, mas também para a criação de ambientes urbanos mais resilientes e adaptáveis às demandas hidrológicas e ambientais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16416: Pavimentos permeáveis de concreto – Requisitos e procedimentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

BAPTISTA, M. B.; NASCIMENTO, N. O. **Aspectos Institucionais e de Financiamento dos Sistemas de Drenagem Urbana**. RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, 2002.

BARRETO-NETO, A.A.; SOUZA FILHO, C.R. **Modelagem dinâmica de escoamento superficial**. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Belo Horizonte, BH. v. 11, p. 242, 2003.

BRASÍLIA. **Manual de Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas do Distrito Federal**, Brasília, DF: ADASA - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal, DF, 2018.

BRITO, F.; HORTA, C. J. G.; AMARAL, E. F. L. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas..** Arquivo disponível pelo Núcleo Regional de Educação de Cascavel, PR, 2012.

CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. **Referências de preços e custos**. Publicado em 14 de julho de 2023. Acesso em: 18 de julho de 2023. https://www.caixa.gov.br/site/Paginas/downloads.aspx#categoria_660

CALCIDADÃO. **Índices de preços - Calculadora do Cidadão**. Disponível em <https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/exibirFormCorrecaoValores.do?method=exibirFormCorrecaoValores> : Acesso em: 20 set 2023.

CAMARGO, C. A. C. **Mapa Ambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso-Porto Alegre, RS**. Salão de Iniciação Científica (22.: 2010 out. 18-22: Porto Alegre, RS). Livro de resumos. Porto Alegre, RS: UFRGS, 2010.

COSTA JUNIOR, L. L.; BARBASSA, A. P. **Parâmetros de projeto de microrreservatório, de pavimentos permeáveis e de previsão de enchentes urbanas**. Engenharia Sanitária e ambiental, v. 11, 2006.

CRUZ, M. A. S.; ARAÚJO, P. R.; SOUZA, V. C. B. **Estruturas de controle do escoamento urbano na microdrenagem**. XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte, BH, 1999.

FARIAS, A. R.; et al. **Identificação, mapeamento e quantificação das áreas urbanas do Brasil**. Gestão Territorial: Campinas, 2017. 5 p. Comunicado Técnico

Hasenack, H. et al (coord). **Diagnóstico Ambiental de Porto Alegre: geologia, solos, drenagem, vegetação/ocupação e paisagem**. Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Porto Alegre, RS, 2008.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mudança Demográfica no Brasil no início do Século XXI, Subsídios para as projeções da população**. Rio de Janeiro, RJ, IBGE, 2015.

FEITOSA, F. F. S. **Avaliação do uso de trincheiras de infiltração para atenuação de picos de cheia utilizando o SWMM**. Tese de Mestrado em Engenharia Civil. Universidade Federal do Ceará, CE, 2015.

GONÇALVES, L. M.; BAPTISTA, L. F. S.; RIBEIRO, R. A. **O uso de técnicas compensatórias de drenagem para controle dos impactos na urbanização**. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, [s.l.], v. 12, n. 1, 2016.

GRACIOSA, M.C.P. **Trincheiras de infiltração como tecnologia alternativa em drenagem urbana: modelagem experimental e numérica**. Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2005.

LOURENÇO, R. **Sistemas Urbanos de Drenagem Sustentáveis**. Mestrado em Engenharia Civil. Coimbra, 2014.

MARCHIONI, M.; SILVA, C. O. **Pavimento Intertravado Permeável: melhores práticas**. São Paulo: Editora Associação Brasileira de Cimento Portland, 2011.

MESQUITA, M. G. B. F; MORAES, S. O. **A dependência entre a condutividade hidráulica saturada e atributos físicos do solo**. Ciência Rural, v. 34, 2004.

MIGUEZ, M.; REZENDE, O.; VERÓL, A. **Drenagem urbana: do projeto tradicional à sustentabilidade**. Elsevier Brasil, 2015.

MOURA, P. M. **Contribuição para a Avaliação Global de Sistemas de Drenagem Urbana**. Belo Horizonte, BH, 2004

NAKAZONE, L. M. **Implantação de Reservatórios de Detenção em Conjuntos Habitacionais: a experiência da CDHU**. Mestrado em Engenharia. São Paulo, SP, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS – ONU. **World Urbanization Prospects: The 2018 Revision**. Nova Iorque, 2019. Disponível em: <https://population.un.org/wup/publications/Files/WUP2018-Report.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

PINTO, L. L. C. A. **O desempenho dos pavimentos permeáveis como medida mitigadora da impermeabilização do solo urbano**. 255 f. Tese Doutorado em Engenharia Hidráulica e Sanitária - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

PORTO ALEGRE. Departamento De Esgotos Pluviais (DEP). **Manual de Drenagem Urbana**. (2005). Plano Diretor de Drenagem Urbana. Volume VI. Disponível em: http://Nproweb.procempa.com.br/pmpa/prefpoa/dep/usu_doc/manual_de_drenagem_ultima_versao.pdf.

PORTO ALEGRE. **Decreto 15.371 de 17 de novembro de 2006**. Regulamenta o controle da drenagem urbana. Porto Alegre, 2006.

REIS, R. P. A.; ILHA, M. S. O.; TEIXEIRA, P. C. **Sistemas prediais de infiltração de água de chuva: aplicações, limitações e perspectivas**. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, 2013.

SÃO PAULO. **Manual de Drenagem e manejo de águas pluviais: aspectos tecnológicos, diretrizes para projetos**, ed. SMdDU (SMDU), São Paulo, p. 128, 2012.

SCHUELER, T. R. **Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs**. Department of Environmental Programs, Metropolitan Washington Council of Governments, 1987.

SECRETARIA MUNICIPAL DE OBRAS E VIAÇÃO – SMOV. **Tabela oficial de referência de preços para obras viárias**. Porto Alegre, 2016.

SILVA, J. P. **Estudos preliminares para implantação de trincheiras de infiltração**. Tese de Mestrado, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília, Brasília, BH, 2007.

SILVEIRA, A. L. L.; GOLDENFUM, J. **Metodologia generalizada para pré-dimensionamento de dispositivos de controle pluvial na fonte**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 12, no. 2 (abr./jun. 2007), p. 157-168, 2007.

SOUZA, V. C.B.; GOLDENFUM, J. A. **Trincheiras de infiltração como elemento de controle do escoamento superficial: um estudo experimental**. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, v. 13, p. 1999, 1999.

SOUZA, V. C. B. **Estudo Experimental de Trincheiras de Infiltração no Controle de Geração do Escoamento Superficial**. Tese de Mestrado, Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

TUCCI, C. E. M.; GENZ, F. **Controle do impacto da urbanização. Drenagem Urbana**. Pgs, p. 277-345, 1995.

TUCCI, C. E. M. **Gerenciamento da drenagem urbana**. RBRH: Revista Brasileira de Recursos Hídricos. Porto Alegre, RS. Vol. 7, n. 1 (2002 jan./mar.), p. 5-27, 2002.

TUCCI, C. E. M.; BERTONI, J.C. **Inundações na América do Sul**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Porto Alegre, RS, 2003.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da drenagem urbana**. Brasília, DF: CEPAL. Escritório no Brasil/IPEA, 2012.

URBONAS, Ben; STAHERE, Peter. **Stormwater: Best management practices and detention for water quality, drainage, and CSO management**. Englewood Cliffs, New Jersey, 1993.

ZAHED, K. F., MARCELLINI, S. S. Precipitações Máximas. In: Tucci, C. E. M.; Porto, R. L.; Barros, M. T. (organizadores). **Drenagem Urbana**. ABRH - Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Editora da Universidade. UFRGS. Porto Alegre, RS, 1995.

APÊNDICE**A**

Tabela de estimativa de vazões para diferentes condutividades hidráulica saturada para Pavimentação Permeável e para Trincheira de Infiltração

Fonte: elaborado pelo autor

Ksat (mm/h) 7,6		PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL				TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
t (min)	mm/h	Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)	Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)		
0	152,56	0,6146	0,00	0,00	0,00	0,0415	0,00	0,00	0,00		
5	113,94	0,4590	172,13	12,68	159,45	0,0310	11,62	0,80	10,83		
10	92,62	0,3731	279,85	25,35	254,50	0,0252	18,90	1,59	17,31		
15	78,87	0,3178	357,48	38,03	319,45	0,0215	24,14	2,39	21,75		
20	69,17	0,2787	418,00	50,70	367,30	0,0188	28,23	3,18	25,04		
25	61,90	0,2494	467,61	63,38	404,23	0,0168	31,58	3,98	27,60		
30	56,23	0,2265	509,70	76,05	433,64	0,0153	34,42	4,78	29,64		
35	51,66	0,2081	546,30	88,73	457,57	0,0141	36,89	5,57	31,32		
40	47,88	0,1929	578,73	101,40	477,32	0,0130	39,08	6,37	32,71		
45	44,71	0,1801	607,89	114,08	493,81	0,0122	41,05	7,16	33,89		
50	41,99	0,1692	634,42	126,76	507,66	0,0114	42,84	7,96	34,88		
55	39,64	0,1597	658,78	139,43	519,35	0,0108	44,49	8,76	35,73		
60	37,58	0,1514	681,32	152,11	529,22	0,0102	46,01	9,55	36,46		
65	35,76	0,1441	702,33	164,78	537,55	0,0097	47,43	10,35	37,08		
70	34,14	0,1375	722,02	177,46	544,56	0,0093	48,76	11,15	37,61		
75	32,68	0,1317	740,55	190,13	550,41	0,0089	50,01	11,94	38,07		
80	31,36	0,1263	758,07	202,81	555,26	0,0085	51,19	12,74	38,45		
85	30,16	0,1215	774,70	215,48	559,21	0,0082	52,32	13,53	38,78		
90	29,07	0,1171	790,53	228,16	562,37	0,0079	53,38	14,33	39,05		
95	28,07	0,1131	805,64	240,83	564,80	0,0076	54,41	15,13	39,28		
100	27,14	0,1093	820,11	253,51	566,60	0,0074	55,38	15,92	39,46		
105	26,29	0,1059	833,99	266,19	567,80	0,0072	56,32	16,72	39,60		
110	25,49	0,1027	847,34	278,86	568,47	0,0069	57,22	17,51	39,71		
115	24,76	0,0997	860,19	291,54	568,66	0,0067	58,09	18,31	39,78		
120	24,07	0,0970	872,60	304,21	568,39	0,0065	58,93	19,11	39,82		
125	23,42	0,0944	884,59	316,89	567,70	0,0064	59,74	19,90	39,83		
130	22,82	0,0919	896,20	329,56	566,64	0,0062	60,52	20,70	39,82		
135	22,25	0,0896	907,45	342,24	565,21	0,0061	61,28	21,49	39,79		
140	21,71	0,0875	918,37	354,91	563,45	0,0059	62,02	22,29	39,73		
145	21,20	0,0854	928,97	367,59	561,38	0,0058	62,73	23,09	39,65		
V MÁX (m ³)					568,66	V MÁX (m ³)					39,83

Ksat (mm/h) 3,8		PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL				TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
t (min)	mm/h	Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)	Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)		
0	152,56	0,6146	0,00	0,000	0,00	0,0415	0,00	0,000	0,00		
5	113,94	0,4590	172,13	12,253	159,88	0,0310	11,62	0,768	10,86		
10	92,62	0,3731	279,85	24,505	255,35	0,0252	18,90	1,535	17,36		
15	78,87	0,3178	357,48	36,758	320,72	0,0215	24,14	2,303	21,84		
20	69,17	0,2787	418,00	49,011	368,99	0,0188	28,23	3,071	25,16		
25	61,90	0,2494	467,61	61,263	406,35	0,0168	31,58	3,839	27,74		
30	56,23	0,2265	509,70	73,516	436,18	0,0153	34,42	4,606	29,81		
35	51,66	0,2081	546,30	85,769	460,53	0,0141	36,89	5,374	31,52		
40	47,88	0,1929	578,73	98,021	480,71	0,0130	39,08	6,142	32,94		
45	44,71	0,1801	607,89	110,274	497,62	0,0122	41,05	6,910	34,14		
50	41,99	0,1692	634,42	122,526	511,89	0,0114	42,84	7,677	35,17		
55	39,64	0,1597	658,78	134,779	524,00	0,0108	44,49	8,445	36,04		
60	37,58	0,1514	681,32	147,032	534,29	0,0102	46,01	9,213	36,80		
65	35,76	0,1441	702,33	159,284	543,05	0,0097	47,43	9,981	37,45		
70	34,14	0,1375	722,02	171,537	550,48	0,0093	48,76	10,748	38,01		
75	32,68	0,1317	740,55	183,790	556,76	0,0089	50,01	11,516	38,49		
80	31,36	0,1263	758,07	196,042	562,03	0,0085	51,19	12,284	38,91		
85	30,16	0,1215	774,70	208,295	566,40	0,0082	52,32	13,052	39,26		
90	29,07	0,1171	790,53	220,548	569,98	0,0079	53,38	13,819	39,57		
95	28,07	0,1131	805,64	232,800	572,84	0,0076	54,41	14,587	39,82		
100	27,14	0,1093	820,11	245,053	575,05	0,0074	55,38	15,355	40,03		
105	26,29	0,1059	833,99	257,306	576,68	0,0072	56,32	16,122	40,20		
110	25,49	0,1027	847,34	269,558	577,78	0,0069	57,22	16,890	40,33		
115	24,76	0,0997	860,19	281,811	578,38	0,0067	58,09	17,658	40,43		
120	24,07	0,0970	872,60	294,064	578,54	0,0065	58,93	18,426	40,50		
125	23,42	0,0944	884,59	306,316	578,28	0,0064	59,74	19,193	40,54		
130	22,82	0,0919	896,20	318,569	577,63	0,0062	60,52	19,961	40,56		
135	22,25	0,0896	907,45	330,821	576,63	0,0061	61,28	20,729	40,55		
140	21,71	0,0875	918,37	343,074	575,29	0,0059	62,02	21,497	40,52		
145	21,20	0,0854	928,97	355,327	573,64	0,0058	62,73	22,264	40,47		
V MÁX (m ³)					578,54	V MÁX (m ³)					40,56

Ksat (mm/h)		PAVIMENTAÇÃO PERMEÁVEL				TRINCHEIRA DE INFILTRAÇÃO					
1,3		Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)	Qafl (m ³ /s)	Vafl (m ³)	Vefl	Vres (m ³)		
t (min)	mm/h										
0	152,56	0,6146	0,00	0,000	0,00	0,0415	0,00	0,000	0,00		
5	113,94	0,4590	172,13	11,974	160,16	0,0310	11,62	0,749	10,87		
10	92,62	0,3731	279,85	23,949	255,91	0,0252	18,90	1,498	17,40		
15	78,87	0,3178	357,48	35,923	321,55	0,0215	24,14	2,247	21,89		
20	69,17	0,2787	418,00	47,898	370,10	0,0188	28,23	2,996	25,23		
25	61,90	0,2494	467,61	59,872	407,74	0,0168	31,58	3,745	27,83		
30	56,23	0,2265	509,70	71,847	437,85	0,0153	34,42	4,494	29,93		
35	51,66	0,2081	546,30	83,821	462,48	0,0141	36,89	5,243	31,65		
40	47,88	0,1929	578,73	95,796	482,93	0,0130	39,08	5,993	33,09		
45	44,71	0,1801	607,89	107,770	500,12	0,0122	41,05	6,742	34,31		
50	41,99	0,1692	634,42	119,745	514,67	0,0114	42,84	7,491	35,35		
55	39,64	0,1597	658,78	131,719	527,06	0,0108	44,49	8,240	36,25		
60	37,58	0,1514	681,32	143,693	537,63	0,0102	46,01	8,989	37,02		
65	35,76	0,1441	702,33	155,668	546,66	0,0097	47,43	9,738	37,69		
70	34,14	0,1375	722,02	167,642	554,37	0,0093	48,76	10,487	38,27		
75	32,68	0,1317	740,55	179,617	560,93	0,0089	50,01	11,236	38,77		
80	31,36	0,1263	758,07	191,591	566,48	0,0085	51,19	11,985	39,21		
85	30,16	0,1215	774,70	203,566	571,13	0,0082	52,32	12,734	39,58		
90	29,07	0,1171	790,53	215,540	574,99	0,0079	53,38	13,483	39,90		
95	28,07	0,1131	805,64	227,515	578,12	0,0076	54,41	14,232	40,17		
100	27,14	0,1093	820,11	239,489	580,62	0,0074	55,38	14,981	40,40		
105	26,29	0,1059	833,99	251,464	582,53	0,0072	56,32	15,730	40,59		
110	25,49	0,1027	847,34	263,438	583,90	0,0069	57,22	16,480	40,74		
115	24,76	0,0997	860,19	275,412	584,78	0,0067	58,09	17,229	40,86		
120	24,07	0,0970	872,60	287,387	585,21	0,0065	58,93	17,978	40,95		
125	23,42	0,0944	884,59	299,361	585,23	0,0064	59,74	18,727	41,01		
130	22,82	0,0919	896,20	311,336	584,86	0,0062	60,52	19,476	41,04		
135	22,25	0,0896	907,45	323,310	584,14	0,0061	61,28	20,225	41,06		
140	21,71	0,0875	918,37	335,285	583,08	0,0059	62,02	20,974	41,04		
145	21,20	0,0854	928,97	347,259	581,71	0,0058	62,73	21,723	41,01		
V MÁX (m ³)					585,23	V MÁX (m ³)					41,06

APÊNDICE**B**

Tabela de estimativa de vazões para Reservatório de Detenção

Fonte: elaborado pelo autor

RESERVATÓRIO DE DETENÇÃO

t (min)	mm/h	Qafl (m³/s)	Vafl (m³)	Vefl	Vres (m³)
0	152,56	0,6561	0,00	0,00	0,00
5	113,94	0,4900	183,75	11,83	171,92
10	92,62	0,3983	298,75	23,66	275,09
15	78,87	0,3392	381,62	35,49	346,13
20	69,17	0,2975	446,23	47,32	398,91
25	61,90	0,2662	499,19	59,15	440,04
30	56,23	0,2418	544,12	70,98	473,14
35	51,66	0,2222	583,19	82,81	500,38
40	47,88	0,2059	617,81	94,64	523,17
45	44,71	0,1923	648,94	106,47	542,47
50	41,99	0,1806	677,26	118,30	558,96
55	39,64	0,1705	703,26	130,13	573,14
60	37,58	0,1616	727,33	141,96	585,38
65	35,76	0,1538	749,76	153,79	595,97
70	34,14	0,1468	770,77	165,62	605,16
75	32,68	0,1405	790,56	177,45	613,11
80	31,36	0,1349	809,26	189,28	619,98
85	30,16	0,1297	827,01	201,11	625,90
90	29,07	0,1250	843,91	212,94	630,97
95	28,07	0,1207	860,04	224,77	635,28
100	27,14	0,1167	875,49	236,60	638,89
105	26,29	0,1131	890,31	248,43	641,88
110	25,49	0,1096	904,56	260,26	644,30
115	24,76	0,1065	918,28	272,09	646,20
120	24,07	0,1035	931,53	283,92	647,61
125	23,42	0,1007	944,33	295,74	648,58
130	22,82	0,0981	956,72	307,57	649,14
135	22,25	0,0957	968,73	319,40	649,32
140	21,71	0,0934	980,38	331,23	649,15
145	21,20	0,0912	991,71	343,06	648,64
				V MÁX (m³)	649,32

