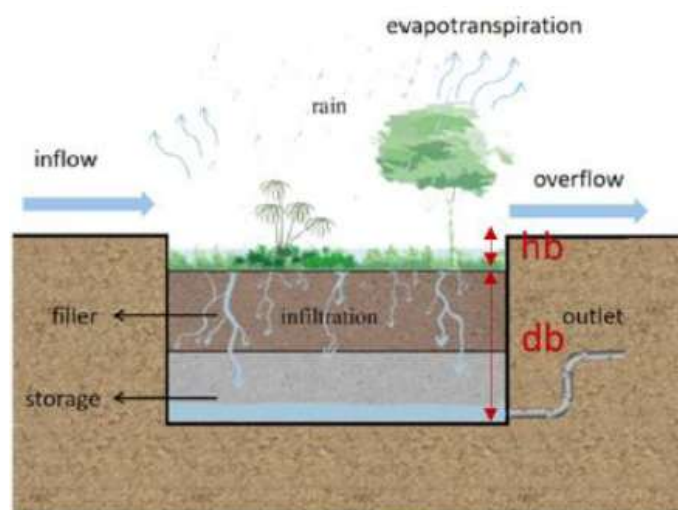


DIMENSIONAMENTO DE JARDINS DE CHUVA PARA O CAMPUS DA PUC NA CIDADE DE CURITIBA/PRCarlos Vinícius Bibiano¹ (IC), Marina B. de Macedo (PQ)¹¹Universidade Federal de Itajubá.**Palavras-chave:** Bioretenção. Drenagem Urbana. Precipitação.**Introdução**

O dimensionamento adequado de jardins de chuva é essencial para o controle de cheias em cidades com muitas áreas urbanas que enfrentam problemas de inundações devido à ocupação desordenada próxima a corpos hídricos e à intensa impermeabilização do solo. Essas mudanças nos processos hidrológicos e no uso e ocupação das bacias hidrográficas resultam em menor infiltração e maior escoamento superficial, agravando a frequência de eventos como cheias e inundações. Os jardins de chuva surgem como soluções baseadas na natureza que, ao reter e infiltrar a água da chuva, aliviam a pressão sobre os sistemas de drenagem convencionais, diminuindo o escoamento superficial e promovendo o desenvolvimento urbano sustentável e a melhoria da gestão das águas pluviais.

Metodologia

Para o desenvolvimento deste projeto, foi necessária a aquisição de dados sobre a região, obtidos por meio de reuniões com a equipe representativa do Campus PUC de Curitiba e de revisões bibliográficas voltadas à drenagem urbana. Após essa etapa, foi possível desenvolver a caracterização do local de estudo, o que permitiu a escolha do modelo de bioretenção, que visa o controle de escoamento superficial e de qualidade d'água, como ilustrado na Figura 1. Também foram delimitadas as áreas de alagamento, disponibilizadas pelo Campus PUC, que sofrem com eventos pluviométricos e necessitam dos jardins de chuva, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 1 – Modelo da Bioretenção*Fonte: Autor.**Figura 2 – Áreas de Alagamento**Fonte: LabClima – PUC/PR (2023).*

Posteriormente, com os locais de cada bioretenção delimitados e conhecendo as áreas prioritárias e secundárias, com o auxílio do software QGIS, a bacia foi dividida em seis sub-bacias, visando entender as áreas de contribuição e o comportamento do escoamento superficial, conforme ilustrado na Figura 3.

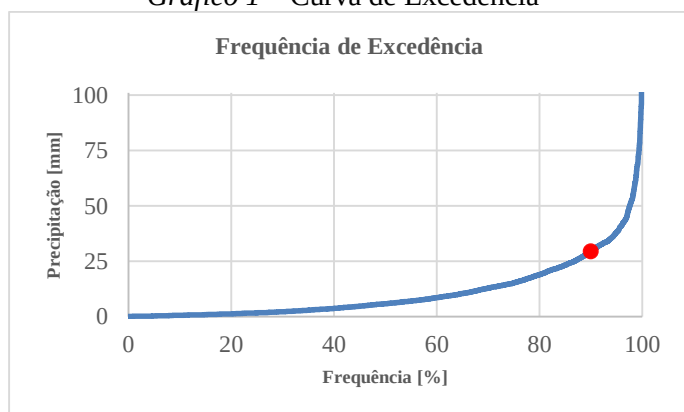
Figura 3 – Divisão das Sub-Bacias



Fonte: Autor.

Para o dimensionamento dos jardins de chuva, o primeiro passo envolve a determinação das chuvas P90, que representa uma precipitação com 90% de probabilidade de ser superada apenas uma vez em um período de um ano, e a P24, que representa uma precipitação máxima acumulada em 24 horas para um período de retorno específico. Esses valores são obtidos a partir de dados históricos de precipitação registrados por postos da ANA (Agência Nacional de Água) e é essencial para garantir que o jardim de chuva seja projetado para suportar eventos de chuva significativos, mas não extremos, o Gráfico 1 ilustra a curva de frequência de excedência confeccionada a partir dos dados de precipitação e frequência, destacando a P90.

Gráfico 1 – Curva de Excedência



Fonte: Autor.

Para obter a curva IDF, foram utilizados valores referentes ao município de Curitiba/PR, conforme Barbosa (1991).

- Precipitação Total para um TR de 10 anos, Equação 1:

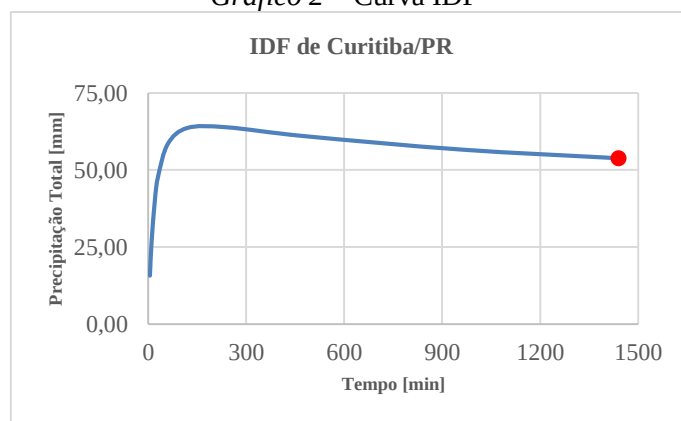
$$i_{\text{máx}} = \frac{(K * TR^a)}{(t + b)^c} \left[\frac{\text{mm}}{h} \right]$$

Onde:

- $K = 5.950 \text{ [p/h]}$;
- $a = 0,217$;
- $b = 26$;
- $c = 1,15$.

A partir dos valores obtidos pela Equação 1, foi possível elaborar a curva IDF para o município de Curitiba/PR, como ilustra o Gráfico 2 abaixo destacando a P24.

Gráfico 2 – Curva IDF



Fonte: Autor.

Com a precipitação P90 determinada em 29,3 mm e a P24 em 53,8 mm, foram calculados os valores de precipitação total para diferentes Tempos de Retorno (TR), a fim de analisar diversos cenários. A partir desses dados, foram confeccionados hietogramas pelo método dos blocos alternados, com duração de 30 minutos e intervalos de 2 minutos, para os TR de 5, 10, 25 e 50 anos, utilizando a curva IDF de Curitiba. Esses hietogramas representam a distribuição da intensidade da chuva ao longo do tempo, permitindo uma simulação precisa do comportamento do escoamento superficial em eventos de diferentes magnitudes.

Dessa forma, realiza-se o cálculo da área de contribuição e o dimensionamento de seis bioretenções, cada uma projetada com base no volume de escoamento superficial a ser captado e infiltrado. Vale ressaltar que, para obter os dados de volume para controle de escoamento e qualidade da água, foram utilizados, juntamente com a P90, os dados da P24. A partir dessas informações e empregando as equações a seguir, foi possível determinar

os volumes necessários para as bioretenções.

- Precipitação Efetiva, Equação 2:

$$Pe = \frac{(P_{24} - 0,2 * S)^2}{(P_{24} + 0,8 * S)} [mm]$$

Para o cálculo do fator S utilizado anteriormente na Equação 1, consideramos o valor de CN, sendo 74 para áreas de vegetação rasteira e 95 para áreas urbanas.

- Termo S, Equação 3:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Para obter o volume excedente, utilizamos o valor de precipitação obtido por meio da Equação 1, considerando cada termo S com a variação do valor de CN.

- Diferença de Precipitação Efetiva, Equação 4:

$$\Delta Pe = Pe_{pós} - Pe_{pré} [nm]$$

- Volume Para Controle de Escoamento, Equação 5:

$$Vol = \Delta Pe * A [m^3]$$

Para o cálculo do volume para controle de qualidade da água utilizamos uma constante Rv com o valor de 0,96.

- Volume Para Controle de Qualidade da Água, Equação 6:

$$WQV = P * Rv * A [m^3]$$

Para o dimensionamento das áreas de cada bioretenção, considerou-se a capacidade de infiltração do solo local, a necessidade de amortecimento das cheias e o maior valor de volume obtido entre o controle de escoamento superficial e a qualidade da água, assim, para o cálculo da área de cada bioretenção. Como todos os volumes de controle de escoamento foram maiores que os de controle de qualidade, essa abordagem assegurou um dimensionamento eficiente para as bioretenções.

- Áreas de cada bioretenção, Equação 7:

$$Ab = \frac{Vol * db}{\left(\frac{K}{FS}\right) * (hb + db) * tb}$$

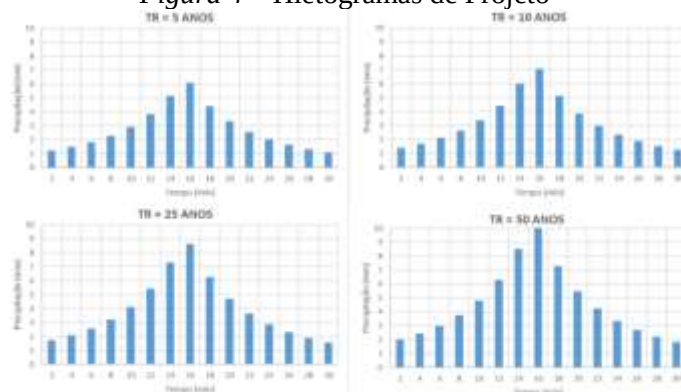
Onde:

- Vol = Volume excedente calculado;
- db = Profundidade do meio filtrante (1 metro);
- K = Condutividade hidráulica do solo (195,48 mm/h);
- FS = Fator de segurança (2);
- hb = Profundidade alagável (0,4m);
- tb = Tempo de esvaziamento da estrutura (24h).

Resultados e discussão

Com base nos hietogramas gerados a partir dos dados de precipitação total para os diferentes Tempos de Retorno (5, 10, 25 e 50 anos), observou-se que o comportamento do escoamento superficial variou significativamente conforme a magnitude dos eventos pluviométricos. O método dos blocos alternados, com duração de 30 minutos e intervalo de 2 minutos, permitiu uma visualização clara da distribuição das intensidades ao longo do tempo, demonstrando que eventos de maior TR resultam em picos mais acentuados de precipitação, demandando uma maior capacidade de retenção e infiltração das áreas de bioretenção, como ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Hietogramas de Projeto



Fonte: Autor

Os jardins de chuva dimensionados para captar o maior valor de precipitação, ou seja, P₂₄ de 53,8 mm, mostraram-se ineficazes na contenção do escoamento superficial de eventos pluviométricos, observou-se que o volume de precipitação excedeu a capacidade de infiltração prevista, conforme evidenciado na Tabela 1 a seguir, o que pode resultar em escoamento superficial não

controlado. Esse comportamento destaca a importância de se considerar diferentes cenários no dimensionamento das infraestruturas verdes, especialmente em áreas urbanas com alta taxa de impermeabilização do solo, como Curitiba, os dados encontrados de área estão organizados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 1 – Eficiência Para Cada TR

	Vazão de Pico [m³/s]		Volume [m³]		Eficiência de Armotencimento de Pico [%]		Eficiência de Armotencimento de Volume [%]	
	Sem Jardim	Com Jardim	Sem Jardim	Com Jardim				
TR = 5 Anos	0,14	0,11	4153,2	3272,4	21,4%		21,2%	
TR = 10 Anos	0,18	0,15	5012,4	4122	16,7%		17,8%	
TR = 25 Anos	0,26	0,22	6399,6	5491,2	15,4%		14,2%	
TR = 50 Anos	0,33	0,29	7653,6	6742,8	12,1%		11,9%	

Fonte: Autor.

Tabela 2 – Áreas de Contribuição e dos Jardins de Chuva

Sub-Bacia	Área de Contribuição [m²]	Área do Jardim de Chuva [m²]
Priori 1	17.003,18	156,35
Priori 2	15.370,46	141,34
Priori 3	29.337,04	269,76
Secund 1	34.588,54	318,06
Secund 2	20.614,82	189,56
Secund 3	19.296,96	177,44

Fonte: Autor.

A utilização da curva IDF de Curitiba e a simulação de diferentes eventos extremos confirmam a necessidade de ajustar o tamanho e a localização dos jardins de chuva, especialmente em áreas como Secundária 1 e Priori 3, que apresentam as maiores áreas de contribuição e, portanto, desempenham um papel crucial no controle do escoamento. Assim, a adoção dessas infraestruturas verdes proporciona uma gestão mais eficaz das águas pluviais, contribuindo para a mitigação das cheias e a sustentabilidade urbana.

Conclusões

O estudo mostrou que o dimensionamento adequado dos jardins de chuva é uma ferramenta essencial para a gestão sustentável das águas pluviais em áreas urbanas com alta impermeabilização, como Curitiba. A partir da análise dos hietogramas gerados para diferentes Tempos de Retorno (5, 10, 25 e 50 anos), ficou evidente que a capacidade de infiltração dos jardins de chuva, dimensionados com base na precipitação P24 de 53,8 mm, foi insuficiente para eventos pluviométricos mais severos. O volume de precipitação excedeu as capacidades projetadas para alguns cenários, especialmente nos eventos de maior TR, o que pode resultar em escoamento superficial não controlado e potencial aumento de inundações.

As áreas de bioretenção, com dimensões variadas, demonstraram desempenhos distintos. As regiões Secundária 1 e Priori 3, que possuem as maiores áreas de contribuição, são fundamentais para o controle do escoamento e demandam ajustes no dimensionamento para lidar com eventos de chuva mais intensos. Isso reforça a necessidade de se considerar múltiplos cenários de precipitação e ajustar a infraestrutura verde para aumentar sua eficácia no controle das cheias.

Portanto, conclui-se que os jardins de chuva, como soluções baseadas na natureza, têm grande potencial para aliviar a pressão sobre os sistemas de drenagem convencionais e promover o desenvolvimento urbano sustentável. No entanto, é imprescindível ajustar o dimensionamento dessas infraestruturas para atender a eventos de maior magnitude e garantir um melhor controle das cheias em áreas altamente urbanizadas.

Agradecimentos

Agradeço a Prof^a. Dra. Marina Batalini de Macedo pela oportunidade e orientação no desenvolvimento do projeto. Também agradeço ao Pedro H. F. Brandão, graduando de Engenharia Hídrica e parceiro de pesquisa. Agradeço a Universidade Federal de Itajubá e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela concessão da bolsa durante o período de desenvolvimento da pesquisa.

Referências

- BUENO, L. DOS S. Jardim de chuva: técnica compensatória de drenagem urbana em São Paulo/SP. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 02, n. 03, p. 195–212, 23 mar. 2022.
- TUCCI, C. E. M. et al. **Drenagem Urbana**. Carlos E. M. Tucci, Rubem La Laina Porto, Mário T. de Barros (organizadores). Porto Alegre: ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, 1995.
- BRITO, F. et al. **A urbanização recente no Brasil e as aglomerações metropolitanas**. 2012. Arquivo disponível pelo Núcleo Regional de Educação de Cascavel – PR.
- DOURADO, L. S.; SILVA, M. A.; MENDES, S. R. S. **Jardim de chuva como técnica compensatória: Um estudo no município de Goiânia**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás (curso de Engenharia Civil), 2020.