

# **ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA DE BACIA DE DETENÇÃO E TÉCNICAS DE DESENVOLVIMENTO DE BAIXO IMPACTO**

Jhonathan Yoshiaki Namba (UEPG) Email: jhonathany\_n@hotmail.com

Marcos Rogério Szeliga (UEPG) E-mail: marcosrs@uepg.br

Giovana Katie Wiecheteck (UEPG) E-mail: giovana@uepg.br

Ana Carolina Barbosa Kummer (UNICENTRO) E-mail: ackummer@unicentro.br

**Resumo:** O desenvolvimento urbano gera consigo necessidades habitacionais. No Brasil, o processo de urbanização ocorreu de forma acelerada e, portanto, muitas estruturas não tiveram a devida atenção. Atualmente uma das estruturas que apresentam problemas nas grandes cidades é o sistema de drenagem que, quando subdimensionado pode trazer prejuízos para os habitantes e para o meio ambiente. Tendo em vista essa situação, este trabalho verificou alguns métodos de dimensionamento de bacias de retenção na literatura e o método proposto pela Resolução SEDEST 50/2022. Todos estes estudos tiveram como base um loteamento típico da cidade de Maringá-PR. Estas bacias foram dimensionadas com dados de precipitação calculados pela curva IDF de Cianorte. Os resultados apresentaram que, apesar de adotar metodologias de cálculo diferentes, os volumes dimensionados das bacias foram muito próximos uns dos outros. Após essa análise um novo estudo foi feito adotando-se medidas de Desenvolvimento de Baixo Impacto, com a implementação de pavimento permeável e telhados verdes. Assim, observou-se que a implantação de medidas de baixo impacto influenciou significativamente na área comprometida para a instalação das bacias de retenção, demonstrando-se interessante seu uso em conjunto.

**Palavras-chave:** Hidrologia, Drenagem urbana, Inundação.

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF HOLDING BASIN EFFICIENCY AND LOW IMPACT DEVELOPMENT TECHNIQUES**

**Abstract:** Urban development brings with it housing needs. In Brazil, the urbanization process occurred at an accelerated pace and, therefore, many structures did not receive due attention. Currently one of the structures that present problems in large cities is the drainage system that, when underdimensioned can bring damage to the inhabitants and the environment. Considering this situation, this work verified some methods for sizing detention basins in the literature and the method proposed by Resolution SEDEST 50/2022. All these studies were based on a typical subdivision in the city of Maringá-PR. These basins were sized with precipitation data calculated by the IDF curve of Cianorte. The results showed that, despite adopting different calculation methodologies, the dimensioned volumes of the basins were very close to each other. After this analysis a new study was done adopting Low Impact Development measures, with the implementation of permeable sidewalk and green roofs. Thus, it was observed that the implementation of low impact measures significantly influenced the area committed for the installation of detention basins, proving interesting to use them together.

**Keywords:** Hydrology, Urban drainage, Flood.

### **1. Introdução**

As cidades do Paraná têm passado por um crescimento populacional, e isto acarreta na necessidade de estruturas urbanas. Tais estruturas podem ser elencadas como sistema viário, sistema de drenagem, abastecimento de água potável, coleta e tratamento de esgotos, coleta e destinação de resíduos sólidos entre outras. Dentre estas estruturas, o sistema de drenagem acaba por se tornar esquecido, em tese, porque sua necessidade depende de fenômenos de precipitação ocorrem em algumas ocasiões.

Atualmente muitas cidades brasileiras sofrem com problemas de sistemas de drenagem subdimensionados, de tal forma que, constantemente observa-se situações de

alagamentos e inundações. Como um problema atual, muitos pesquisadores e profissionais utilizam o conhecimento acadêmico para buscar soluções que visem a mitigação destes efeitos prejudiciais a vida humana e também ao meio ambiente.

O aumento populacional, trouxe também o aumento da impermeabilização do solo, modificando o ciclo hidrológico existente antes da implantação da cidade. O ciclo hidrológico é um ciclo fechado, ou seja, todo o volume de água existente, não desaparece ou é criado, mas deve ser direcionado para outros fenômenos. Estes são a precipitação, a evapotranspiração, a infiltração, o armazenamento, o escoamento subterrâneo e o escoamento superficial. Quando se diminui a capacidade de infiltração do solo, esta parcela é encaminhada direto ao escoamento superficial, sobrecarregando a micro e macrodrenagem.

Entendendo-se o ciclo hidrológico e os problemas herdados, algumas metodologias para diminuir os problemas de inundação e alagamento são propostas. Quando se relaciona ao Brasil, as propostas de mitigação de problemas envolvendo águas pluviais estão ligadas a construção de bacias de retenção, que acabam retendo a água proveniente de grandes eventos meteorológicos e liberando-a de forma mais lenta. Em alguns casos a bacia de retenção consegue não apenas diminuir o pico do hidrograma, mas até mesmo chegar muito próximo do hidrograma em condição não urbanizada. Um estudo desenvolvido por Silva e Cabral (2014), comparou a instalação de reservatórios de retenção em lotes, em logradouros e em grande área da bacia por meio do modelo StormWater Management Model (SWMM), nos estudos constatou-se a redução de vazão de 40, 60 e 80 % para os reservatórios em lote, em logradouro e na bacia, respectivamente. Ainda segundo os autores a solução da implantação de uma única bacia de retenção para toda a área é economicamente mais viável. O problema destas estruturas é que em geral acabam sendo caras e difíceis de implantar em locais já consolidados.

Quando se trata em tendências mundiais, o que se observa em países desenvolvidos são esforços para potencializar a infiltração e armazenamento. Estes esforços têm como base a substituições de coberturas do terreno impermeáveis por outras, além de um conjunto de técnicas que se somam para apresentar o que se denomina Desenvolvimento de Baixo Impacto, ou como a literatura internacional define Low Impact Development (LID) (DIETZ, 2007).

O desenvolvimento de baixo impacto tem como objetivo retornar as características hidrológicas originais antes da ocupação humana. Estudos apresentados por Ahiablame e Shakya (2016), constataram que a combinação de medidas de baixo impacto como pavimento permeável, barris de armazenamento de água, telhado verde e jardins retentores de chuva em estacionamentos podem diminuir a vazão de pico da bacia em até 47 %, além de reduzir grandes inundações. Isto demonstra o potencial de tais medidas na diminuição da vazão superficial.

Com as diversas situações envolvendo as questões de drenagem urbana, e o desenvolvimento de ferramentas que abrangem cada vez mais particularidades e casos específicos, estudos nesta linha têm avançado para proporcionar soluções mais seguras, de baixo custo e menos danosas ao meio ambiente.

O Paraná apresenta uma população estimada pelo IBGE (2021) de 11.597.484 pessoas, com uma densidade demográfica de 52,40 hab/km<sup>2</sup>, valor este, extremamente alto se comparado com o valor de 3,44 hab/km<sup>2</sup> de 1920. Isto acarretou o aumento de loteamentos e conjuntos habitacionais horizontais e verticais e com isto uma transformação do uso e ocupação do solo.

No Estado do Paraná o Instituto Água e Terra é o órgão responsável por fiscalizar e licenciar atividades potencialmente poluidoras, dessa forma, a atividade imobiliária é analisada por este. Cabe ao Instituto, portanto, garantir com base em parâmetros legais e técnicos, a segurança da qualidade ambiental (PARANÁ, 2019b).

Em relação a drenagem no ponto de vista ambiental observa-se a segurança do corpo hídrico que recebe tal vazão, conforme novos empreendimentos imobiliários são propostos. Atualmente a legislação para esta atividade é a Resolução SEDEST 50/2022 que sugere para bacias de contenção o cálculo simplificado de Wilken, baseado no método de Müller-Neuhaus (PARANÁ, 2019a). Sendo assim, o objetivo deste trabalho foi aplicar uma análise em um loteamento típico de Maringá – PR, para verificar a eficácia da bacia de retenção proposta pela resolução SEDEST 50/2022 em comparação com outros modelos de cálculo e de medidas de desenvolvimento de baixo impacto.

## **2. Hidrologia Urbana**

A água no meio urbano é essencial para o desenvolvimento e manutenção das atividades humanas. De acordo com Butler et al. (2018) as águas no meio urbano apresentam duas interações principais, a captação de água para fornecimento do volume necessário para as atividades humanas, e a alteração da superfície do terreno que leva a impermeabilização, direcionando a água da chuva para os sistemas de drenagem. Ainda segundo os autores estas duas interações dão origem a dois tipos de água que requerem atenção e planejamento, as águas residuais (esgotos) e águas pluviais. Este trabalho se interessa pelo estudo das águas pluviais e seu gerenciamento, e para isso deve compreender a origem das águas pluviais conhecendo os fenômenos envolvendo o ciclo hidrológico.

A hidrologia é o estudo da distribuição de água em toda a Terra, assim como sua movimentação acima e abaixo da superfície. Neste estudo a unidade principal em que ocorrem os fenômenos é uma bacia hidrográfica. Esta é determinada como sendo uma área em que toda a água precipitada tende a ser direcionada para um único ponto, o exutório.

O estudo do ciclo hidrológico em nível global é extremamente complexo e depende de inúmeras variáveis. Para casos mais pontuais como loteamentos ou porções da cidade, o estudo de bacias hidrográficas acaba sendo mais viável.

### **2.1. Precipitação**

A precipitação é o processo em que a água atinge a superfície de alguma forma, ou seja, são exemplos de precipitação a chuva, neve, granizo, orvalho e geada (DINGMAN, 2015). Neste trabalho o interesse se limita a precipitação por chuva, pois os outros processos contribuem pouco ou nada para o ciclo hidrológico na região de estudo.

Nos estudos de hidrologia a chuva apresenta grandezas importantes, como Altura pluviométrica, duração, intensidade e tempo de recorrência. Para Tucci (2001) a Altura pluviométrica (P) é a altura da lâmina de água precipitada expressa em mm ou cm em uma determinada área; a duração é o tempo (t) expresso em geral em min ou h, em que ocorre a precipitação; a intensidade (i) a razão entre a precipitação e o tempo, em mm.h-1 ou mm.min-1; e o tempo de recorrência (TR) é o valor estatístico em anos em que determinado evento pode ocorrer ou ser superado. De acordo com Davie (2019) a chuva é quantificada por um instrumento denominado pluviômetro que mede a quantidade de água que cai sobre uma superfície horizontal e converte esse volume em uma profundidade de chuva utilizando a área do pluviômetro.

Para projetos de engenharia um importante parâmetro são as equações Intensidade Duração Frequência (IDF). Estas equações são elaboradas com dados históricos de estações meteorológicas, aplicando análises estatísticas em que se relaciona os eventos de precipitação conforme a intensidade, duração e a frequência que eles ocorrem (BUTLER, 2018). Estas curvas IDF foram elaboradas de um modo genérico por Koutsoyiannis, Kozonis e Manetas (1998), a formulação dos autores permitiu uma aplicação confiável de uma metodologia usando modelos estatísticos. No Brasil, as equações para curvas IDF em geral se apresentam como a Equação (1).

$$i = \frac{a \cdot TR^b}{(t_d + c)^d} \quad (1)$$

em que:  $i$  é a intensidade da chuva expressa em  $\text{mm.h}^{-1}$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  e  $d$  são constantes que variam de cada local;  $TR$  é o tempo de retorno em anos; e  $t_d$  é a duração do evento de precipitação em minutos.

A Resolução SEDEST 50/2022 sugere o tempo de precipitação como 10 minutos e o tempo de retorno de 3 anos para galerias e 10 anos para emissários e canais (PARANÁ, 2019a).

## 2.2. O ciclo hidrológico influenciado pelas condições urbanas

A água antes precipitada sobre florestas e pastagens, passa a cair sobre superfícies impermeáveis ou quase impermeáveis, como telhados, vias de asfalto, calçadas de concreto, e assim por diante. Este efeito causa influência direta no ciclo hidrológico da região, modificando o sistema natural em equilíbrio e implantando um sistema artificial. Estudos elaborados por Cherkauer (1975) em uma bacia urbana em Wisconsin, Estados Unidos, demonstraram um aumento de inundações quando comparado com uma bacia rural semelhante.

As estruturas projetadas no ambiente urbano, em geral tem o objetivo de retirar a água da superfície de forma mais rápida possível, visando assim uma maior segurança para os carros, pedestres e moradores. No entanto, o fato de retirar a água de forma rápida e encaminhá-la até pontos mais baixos leva a um aumento de problemas de inundação nestes locais a jusante (DAVIE, 2019).

Uma das consequências da urbanização na vazão do rio é a alteração do escoamento de base. O escoamento de base é o escoamento que mantém o rio com uma vazão mínima, mesmo em tempos de estiagem, e tem seu volume proveniente do escoamento subterrâneo. Segundo Butler et al. (2018), com a impermeabilização da superfície o escoamento subterrâneo não é abastecido e, portanto, leva a uma diminuição da vazão dos rios em períodos sem precipitação. Ainda segundo os autores este volume que sustentava o escoamento de base é direcionado para o escoamento superficial, aumentando ainda mais a vazão máxima.

Muitas são as influências geradas pela urbanização e é difícil quantificar de forma genérica estes valores. Além disso, a ocupação de uma bacia pode alterar totalmente o hidrograma em seu exutório. No ambiente rural o hidrograma apresentado é mais suave, com uma vazão de pico baixa e com o processo ocorrendo em um maior tempo. Quando se observa um ambiente semi-urbano um pico mais acentuado começa a surgir e o evento se torna mais curto. Por fim, no ambiente urbano, a vazão de pico ocorre mais rápido e apresenta um valor maior se comparado ao ambiente rural, além não existe uma vazão que sustenta o rio (escoamento de base), pois quase todo o volume de água é

direcionado ao escoamento superficial e não ocorre a recarga do escoamento subterrâneo.

Compreendendo como os fenômenos se relacionam e a influência de um ambiente urbano no ciclo hidrológico, estudos foram realizados elaborando metodologias de quantificar vazões por meio da precipitação e utilizando dados hidrológicos.

### 3. Cálculo Hidrológicos

Quando o ciclo hidrológico passa de uma análise qualitativa, de entendimento dos processos e suas influências, para uma análise quantitativa, é necessário buscar relações que quantifiquem a influência de cada parâmetro hidrológico.

#### 3.1. O ciclo hidrológico influenciado pelas condições urbanas

O tempo de concentração representa o tempo necessário para que uma gota de água precipitada no local mais distante da bacia hidrográfica chegue até o exutório, e é um dos parâmetros mais importantes de uma bacia hidrográfica (BUTLER et al., 2018). A estimativa do tempo de concentração em uma bacia é extremamente complicada pois dependem das características da bacia. Tendo em vista isto, diversos pesquisadores elaboraram equações empíricas que permitem o cálculo aproximado deste tempo com a utilização de dados da bacia. Por serem equações empíricas algumas apresentam resultados melhores para bacias predominantemente urbanas e outras que se adequam melhor em bacias rurais.

Para a determinação do tempo de concentração, pode-se optar por equações proposta pela literatura. Segundo Silveira (2005), para bacias urbanas, recomendam-se as equações de Kirpich, de Carter, de Schaake e de Desbordes (2), sendo que neste estudo foi aplicada a equação de Desbordes.

$$t_c = 0,0869 \cdot \frac{A^{0,3039}}{S^{0,3832} \cdot A_{imp}^{0,4523}} \quad (2)$$

em que:  $t_c$  o Tempo de Concentração expresso em h;  $A$  a Área total em  $\text{km}^2$ ; e  $S$  a Declividade Média expressa  $\text{m.m}^{-1}$ .

#### 3.2. Método Racional

Os modelos de transformação chuva-vazão permitem, por meio de determinada precipitação, estimar o volume de escoamento superficial resultante. Dentre os modelos mais utilizados estão o método racional e o método Soil Conservation Service (SCS) (DINGMAN, 2015).

De acordo com Anderson (2005) o método racional é utilizado em análises no estado estacionário considerando superfície homogênea com chuva e infiltração constante. Este método é uma relação entre a vazão, a área, a precipitação e superfície e pode ser representada pela Equação (3) (DINGMAN, 2015).

$$Q_{MR} = \varepsilon_R \cdot C_R \cdot A_D \cdot p^* \quad (3)$$

Em que:  $Q_{MR}$  é a vazão do método racional em  $\text{m}^3.\text{s}^{-1}$ ;  $\varepsilon_R$  é o coeficiente de transformação de unidade com o valor de 0,278;  $A_D$  é a área drenada em  $\text{km}^2$ ;  $p^*$  é a intensidade da precipitação em  $\text{mm.h}^{-1}$ ; e  $C_R$  é o coeficiente de deflúvio que varia conforme o uso e tipo de solo.

Os coeficientes de deflúvio adotados neste trabalho estão expressos na Tabela 1.

Tabela 1 – Tabela de Coeficiente de deflúvio

Características de superfície	Coeficiente de Deflúvio
Sistema viário	0,95*
Área Impermeável dos lotes	0,90*
Área Permeável dos lotes	0,20*
Equipamentos urbanos	0,90*
Área de Interesse Público	0,90*
Espaço livre de uso público	0,20*
Sistema viário permeável	0,46**
Telhado verde	0,40***

Fonte: Adaptado de DSD (2018)\*, Fassman e Blackbourn (2010)\*\*; Hill et al. (2017)\*\*\*.

Para grandes áreas, pode ser calculado um valor médio do coeficiente de deflúvio por meio das áreas de cada cobertura e da área total (AT) como é apresentado na Equação (4).

$$C_T = \frac{1}{A_T} \sum_{i=1}^n (C_i \cdot A_i) \quad (4)$$

### 3.3. Dimensionamento de bacias de detenção

As bacias de detenção são estruturas capazes de armazenar temporariamente determinado volume de água e liberar de forma mais lenta. Em geral estas estruturas apresentam um orifício como sistema de saída e em alguns casos vertedores para extravasamento. Apesar do funcionamento da estrutura ser simples, seu dimensionamento apresenta diversos métodos distintos.

Os métodos em geral, utilizam simplificações para um pré-dimensionamento, tendo em vista que a análise de hidrogramas pré e pós-ocupação são difíceis de medir e complicados em estimar. Tendo em vista este ponto o que se realiza é o cálculo de uma vazão pico com o método racional ou SCS e a partir deste valor considerar um hidrograma com formato triangular.

O método de Baker pressupõe que a máxima vazão efluente encontrada no hidrograma ocorre na intersecção dos hidrogramas (BAKER 1979 apud MCCUEN 1997). Dessa forma, calcula-se o volume necessário para a bacia pela Equação (5) e Equação (6).

$$\frac{V_a}{V_e} = 1 - \alpha \quad (5)$$

$$\alpha = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (6)$$

em que:  $V_e$  é o volume escoado após a implantação da estrutura e  $V_a$  é o volume a ser armazenado.

O método de Abt e Grigg (1978) considera uma relação entre o hidrograma de entrada triangular e um hidrograma de saída trapezoidal. O cálculo é realizado pela Equação (7).

$$V_a = V_e(1 - \alpha)^2 \quad (7)$$

O método de Wycoff e Singh (1976) adota uma formulação empírica para a estimativa do volume da bacia de detenção conforme a Equação (8).



$$V_a = 0,97 \cdot V_s (1 - \alpha)^{0,753} \quad (8)$$

O método sugerido pela Resolução SEDEST 50 (2022) é o método apresentado por Muller-Neuhaus (1953), citado por Wilken (1978). Este método estima o volume da bacia de retenção conforme a Equação (9).

$$V_a = Q_1 \cdot t_c \cdot K \quad (9)$$

em que: K é o fator volume definido pela Equação (10).

$$K = \log \frac{1}{\alpha} \quad (10)$$

#### 4. Loteamento Tipo em Maringá – PR

Como loteamento típico em Maringá – PR adotou-se o Loteamento Baeza, no Lote de Terras da Gleba Ribeirão Maringá nº 154-A-REM, nas proximidades da Avenida Morangueira, saída para Astorga, que ocupa uma área aproximada de 34,0 hectares. A adoção deste loteamento em específico se configura por ser o parcelamento de solo mais recente no momento deste trabalho, portanto, é aquele que representa com mais atualidade os padrões urbanísticos e viários exigidos pela municipalidade.

Conforme a normativa vigente no Município de Maringá – PR, a Lei Complementar 888/2011, existem regras quanto aos padrões urbanísticos, coeficiente de aproveitamento, número de pavimentos, recuos, taxa de ocupação e área de permeabilidade. Sendo todo o lote inserido na Zona Residencial (ZR2) tais regras podem ser sintetizadas e são apresentadas no quadro a seguir.

Quadro 1 – Aspectos urbanísticos da Lei complementar 888/2011

Item	Descritivo
Requisitos Urbanísticos	Respeitar as definições do zoneamento e dos eixos de serviço e comércio
Coeficiente de Aproveitamento	-Terreno Residencial (1,4). -Eixo Residencial B (3,5 com outorga).
Número de pavimentos	-Terreno Residencial (Térreo + 1). -Eixo Residencial B (Limitado pela cota 650).
Recuos	-Frontal (Terreno residencial 3,00 m; Eixo Residencial B 5,00 m). -Lateral (Terreno residencial 1,50 m, se houver abertura; Eixo Residencial B variável conforme o número de pavimentos).
Taxa de ocupação	-Terreno Residencial (70%). -Eixo Residencial B (Térreo e demais 50%).
Área permeável	10% da área total.

Fonte: Adaptado de Maringá (2011)

Com as diretrizes viárias já definidas pelo poder público municipal conforme se observa

na Figura 1, foi estimado um valor aproximado do coeficiente de deflúvio, sendo uma média ponderada de todas as áreas de asfalto, área permeável e áreas destinadas a construção.

Conforme levantamento a área destinada ao Sistema viário ocupa cerca de 33,05% da área total do imóvel, enquanto isso, a área líquida dos lotes ocupa cerca de 51,30%. O restante das áreas são estatísticas já definidas pelo poder público, sendo destinado 4,00% para equipamentos urbanos, 3,00% para área de interesse público e 8,65% como espaço de uso público no qual foram contempladas as áreas das rotatórias também.

Considerando, portanto, a área permeável destinada na área dos lotes, adotando os seguintes coeficientes de deflúvio: Sistema Viário (0,95); Área permeável dos lotes e espaço livre de uso público (0,20); Área Impermeável dos lotes, equipamentos urbanos e interesse público (0,85). Foi obtido um Coeficiente de deflúvio médio para o loteamento de 0,82.

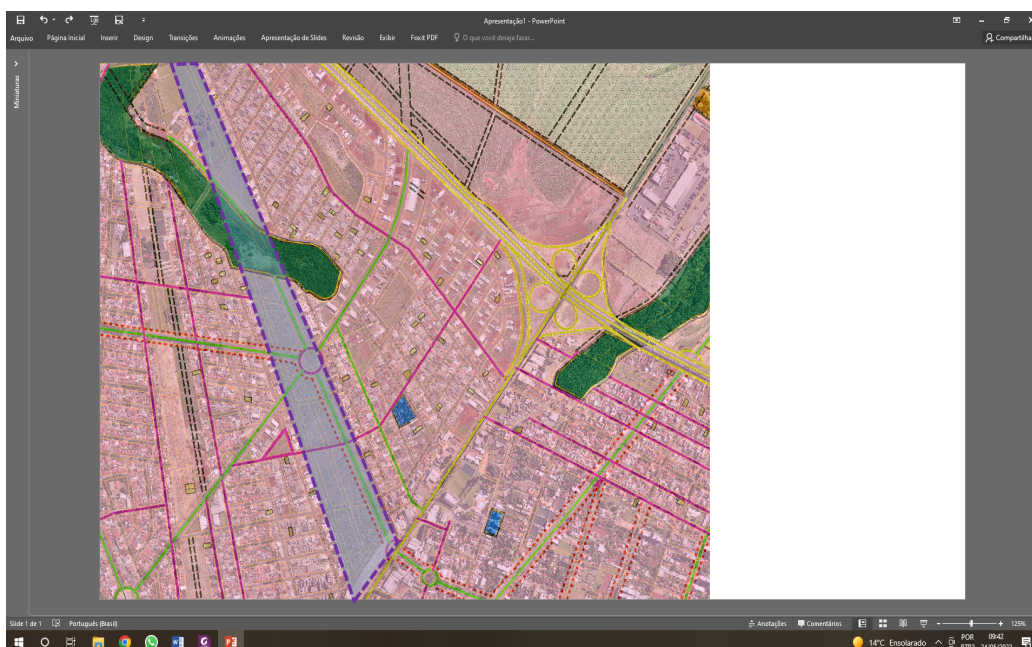


Figura 1 – Diretriz viária para o loteamento Baeza  
Fonte: Adaptado de Portal GeoMaringá (2022)

## 5. Resultados e Discussões

Tendo em vista que as condições de urbanização da área de estudo, um levantamento da vazão antes e após o desenvolvimento foi realizada. Dessa forma, obteve-se duas vazões que serão chamadas de pré-desenvolvimento, quando não se havia ocupação humana no local, sendo considerada a cobertura de grama e, portanto, um coeficiente de deflúvio de 0,20, e porcentagem de área impermeável de 10% e a vazão pós-desenvolvimento, que foi obtida com o coeficiente médio do loteamento após sua implantação completa e apresenta uma área permeável de 90%.

Com as vazões estimadas, foi necessário ainda realizar o cálculo do tempo de concentração que oferecerá subsídio para o dimensionamento das bacias de retenção, sendo adotado neste trabalho a equação de Desbordes.



O resultado e os dados adotados para obtenção das vazões e do tempo de concentração estão expressos na tabela a seguir.

Tabela 2 – Estimativa da vazão

Parâmetros	Pré-desenvolvimento	Pós-desenvolvimento
Coefficiente de Deflúvio	0,20	0,82
Área adotada (Hectares)		34,00
Tempo de precipitação (Minutos)		10,00
Tempo de Retorno (Anos)		3
Equação da Chuva		Cianorte
Intensidade ( $L.s^{-1}.ha^{-1}$ )		363,37
Vazão ( $L.s^{-1}$ )	2470,97	10130,98
Área impermeável	0,1	0,9
Área adotada ( $km^2$ )		0,34
Cota máxima (m)		521,00
Cota mínima (m)		449,00
Distância (m)		2112,00
Declividade média ( $m.m^{-1}$ )		0,0341
Tempo de Concentração (h)	0,65	0,24

Fonte: Elaborado pelos autores

Com os dados necessários para o cálculo foram calculadas as bacias de detenção e determinadas as dimensões para cada um dos métodos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensionamento das Bacias de Detenção

Dimensionamento adotando	Volume ( $m^3$ )	Área útil $m^2$ ( $h=1,2$ m)	Percentual da área total (%)	Redução de vazão (%)
Método Baker	6609,32	5507,77	1,62	
Método Abt e Grigg	4997,29	4164,41	1,22	
Método Muller-Neuhaus	5356,56	4463,80	1,31	76
Método Wycoff e Singh	6869,42	5724,51	1,68	

Fonte: Elaborado pelos autores

Observa-se, portanto, que o método apresentado pela Resolução SEDEST 50/2022, para uma redução de vazão de 76% compromete uma área de aproximadamente 4467,39  $m^2$ . Comparando-se com os outros métodos esta proposta da resolução apresenta um valor intermediário, não sendo nem a que estima o maior volume nem a que estima um menor volume.

Cabe ressaltar que os métodos de Baker, Abt e Grigg e Wycoff e Singh são extremamente similares em suas considerações e, portanto, apresentaram juntamente com o método de Muller-Neuhaus resultados próximos. Além disso, estes dados ratificam o encontrado nos trabalhos de Tomaz (2010) e Melo (2016).

A fim de realizar uma análise de um evento extremo, calculou-se as vazões de pré-desenvolvimento e pós-desenvolvimento para outros tempos de retorno, obtendo-se

os dados da Tabela 4.

Tabela 4 – Vazões estimadas

TR (anos)	Intensidade (L.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Q <sub>pré</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	Q <sub>dós</sub> (L.s <sup>-1</sup> )
3	363,38	2470,97	10130,98
5	391,32	2660,94	10909,87
10	432,69	2942,29	12063,37
25	494,17	3360,36	13777,49
100	604,19	4108,52	16844,91

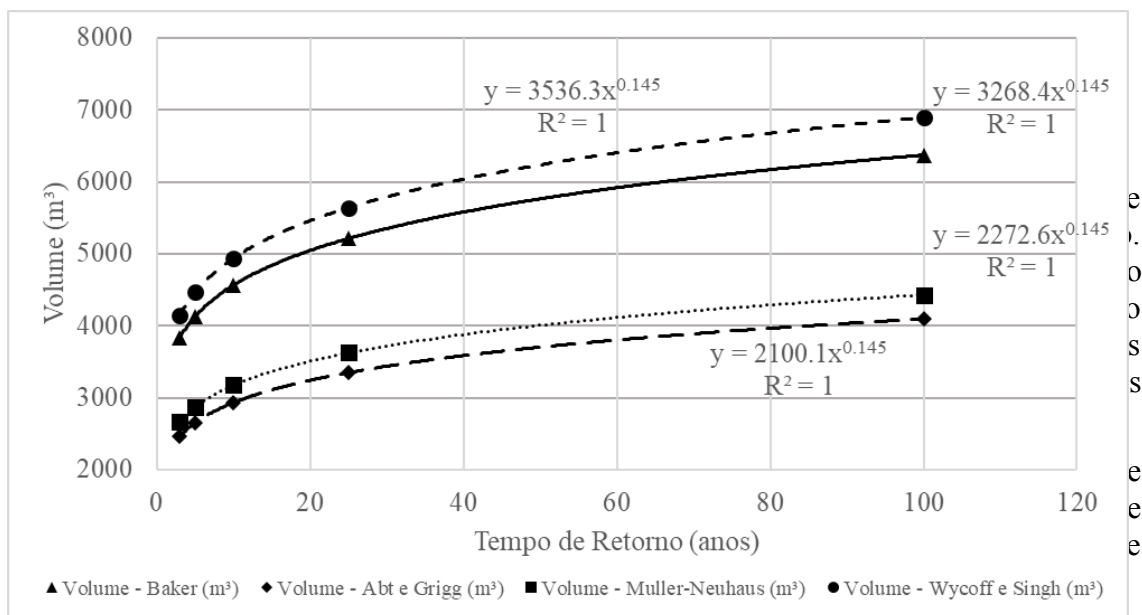
Fonte: Elaborado pelos autores

Dessa forma, com novos dados de vazão foram calculadas as dimensões das bacias de retenção para cada um dos tempos de retorno, conforme se observa na Tabela 5 e na Figura 2.

Tabela 5 – Dimensões da bacia de retenção para outros tempos de retorno

TR	3	5	10	25	100
Volume - Método Baker (m <sup>3</sup> )	6609,3	7117,46	7869,9	8988,2	10989,4
Volume - Método ABT e GRIGG (m <sup>3</sup> )	4997,2	5381,4	5950,4	6796,0	8309,06
Volume - Método Muller-Neuhaus (m <sup>3</sup> )	5356,5	5768,3	6378,2	7284,5	8906,43
Volume - Método Wycoff e Singh (m <sup>3</sup> )	6869,4	7397,5	8179,7	9341,9	11421,8
Percentual da área total - Método Baker (%)	1,62	1,74	1,93	2,20	2,69
Percentual da área total - Método ABT e GRIGG (%)	1,22	1,32	1,46	1,67	2,04
Percentual da área total - Método Muller-Neuhaus (%)	1,31	1,41	1,56	1,79	2,18
Percentual da área total - Método Wycoff e Singh (%)	1,68	1,81	2,00	2,29	2,80

Fonte: Elaborado pelos autores



substituir os telhados das casas para telhados verdes.

Esta alteração na estrutura do loteamento gerou uma alteração no coeficiente de deflúvio para 0,56. Assim, as vazões estimadas para vários tempos de retorno adotando estas medidas podem ser observadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Vazões estimadas em um cenário de Desenvolvimento de Baixo Impacto

TR (anos)	Intensidade (L.s <sup>-1</sup> .ha <sup>-1</sup> )	Q <sub>pré</sub> (L.s <sup>-1</sup> )	Q <sub>pósLID</sub> (L.s <sup>-1</sup> )
3	363,38	2470,97	6913,06
5	391,32	2660,94	7444,55
10	432,69	2942,29	8231,67
25	494,17	3360,36	9401,33
100	604,19	4108,52	11494,44

Fonte: Elaborado pelos autores

De acordo com o apresentado na Tabela 6, a implantação das medidas de Desenvolvimento de Baixo Impacto causou uma alteração no Coeficiente de Deflúvio, de tal forma que, a redução da vazão pós-desenvolvimento comparado a este novo cenário chegou a 31,76%. Este dado corrobora para o encontrado pelos trabalhos de Ahiablame e Shakya (2016), e Damodaram e Zechman (2013), que ao implantar medidas de baixo impacto obtiveram, respectivamente, 47 % e 39 % da redução da vazão de pico, para casos específicos.

Além disso, calculou-se também o tamanho das bacias de retenção necessárias para armazenar o volume excedente a garantir a manutenção da vazão pré-desenvolvimento. As dimensões dessas estruturas para este cenário podem ser observadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Dimensões da bacia de retenção em um cenário de Desenvolvimento de Baixo Impacto

TR	3	5	10	25	100
Volume - Método Baker (m <sup>3</sup> )	3832,7	4127,4	4563,8	5212,3	6372,8
	9	7	7	6	4
Volume - Método ABT e GRIGG (m <sup>3</sup> )	2462,8	2652,1	2932,5	3349,2	4094,9
	2	7	8	8	6
Volume - Método Muller-Neuhaus (m <sup>3</sup> )	2665,11	2870,0	3173,4	3624,3	4431,3
		0	5	8	1
Volume - Método Wycoff e Singh (m <sup>3</sup> )	4146,9	4465,8	4937,9	5639,6	6895,2
	8	0	8	3	3
Percentual da área total - Método Baker (%)	0,94	1,01	1,12	1,28	1,56
Percentual da área total - Método ABT e GRIGG (%)	0,60	0,65	0,72	0,82	1,00
Percentual da área total - Método Muller-Neuhaus (%)	0,65	0,70	0,78	0,89	1,09
Percentual da área total - Método Wycoff e Singh (%)	1,02	1,09	1,21	1,38	1,69

Fonte: Elaborado pelos autores

Pode-se verificar que a implantação de medidas de baixo impacto permite a diminuição da área comprometida pela bacia de retenção, de tal forma que nos casos de eventos extremos com TR de 100 anos, o método de Muller-Neuhaus tem uma diminuição de metade de sua área comprometida do primeiro cenário.

Além do benefício de comprometer uma área menor do loteamento, existe ainda a contribuição no ciclo hidrológico da infiltração permitida pelos pavimentos permeáveis. Esta possibilidade além de ser benéfica para eventos de precipitação extremo contribuem para o escoamento subterrâneo, que sustenta as nascentes em áreas urbanas.

## 6. Conclusões

Neste trabalho foram aplicados métodos de dimensionamento de bacias de retenção em um loteamento típico do Município de Maringá – PR. Apesar da bibliografia apresentar diversas metodologias os valores encontrados em cada um dos métodos foram muito próximos. Além disso, o método proposto na Resolução SEDEST 50/2022 demonstrou um desempenho muito próximo as outras equações, ratificando seu bom uso no dimensionamento dessas estruturas.

Foi realizado ainda uma análise, variando os Tempos de Retorno, a fim de verificar qual seria seu real impacto no comprometimento das áreas úteis em um loteamento. Os resultados demonstraram que o incremento percentual de área comprometida tende a ser menor que a segurança estatística linear obtida. Dessa forma, o comprometimento de uma área um pouco maior pode trazer mais segurança hidrológica para os eventos de precipitação extrema.

Além disso, em uma análise adotando medidas de baixo impacto pode-se concluir que a adoção de técnicas em conjunto permite diminuir a área comprometida para a implantação da bacia de retenção. Além de contribuir intensamente para a infiltração e para o escoamento subterrâneo.

## Referências

- ABT, S. R.; GRIGG, N. S. *An approximate method for sizing detention reservoirs*. Journal of the American Water Resources Association, v. 14, n. 4, p. 956-965, 1978.
- AHIABLAME, L.; SHAKYA, R. *Modeling flood reduction effects of low impact development at a watershed scale*. Journal of environmental management, v. 171, p. 81-91, 2016.
- ANDERSON, M. G. *Encyclopedia of hydrological sciences*. J. Wiley, 2005. 3243 p.
- BUTLER, D. et al. *Urban drainage*. 4 ed. Crc Press Taylor e Francis Group, 2018, 545 p.
- CANHOLI, A. P. *Drenagem urbana e controle de enchentes*. São Paulo: Oficina de Textos; 2014. 384 p.
- CHERKAUER, D. S. *Urbanization impact on water quality during a flood in small watersheds*. Journal of the American Water Resources Association, v. 11, n. 5, p. 987-998, 1975.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. *Hidrologia para engenharia e ciências ambientais*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, v. 1, 2013. 350 p.
- DAMODARAM, C.; ZECHMAN, E. M. *Simulation-optimization approach to design low impact development for managing peak flow alterations in urbanizing watersheds*. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 139, n. 3, p. 290-298, 2013.
- DAVIE, T. *Fundamentals of hydrology*. Routledge, 2019. 285 p.
- DIETZ, M. E. *Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions*. Water, air, and soil pollution, v. 186, n. 1-4, p. 351-363, 2007.
- DINGMAN, S. L. *Physical hydrology*. 3 ed. Waveland press, 2015. 643 p.
- DSD. **Drainage Services Department**. *Stormwater Drainage Manual – Planning, Design and management*. 5 ed. Government of the Hong Kong Special Administrative Region, 2018. 193 p.
- FASSMAN, E. A.; BLACKBOURN, S. *Urban runoff mitigation by a permeable pavement system over impermeable soils*. Journal of hydrologic engineering, v. 15, n. 6, p. 475-485, 2010.
- HILL, J. et al. *Influences of four extensive green roof design variables on stormwater hydrology*. Journal of Hydrologic Engineering, v. 22, n. 8, p. 04017019, 2017.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia E Estatística.** *Cidades e Estados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pr.html>>. Acesso 12 jul. 2020.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia.** *Estações automáticas*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=estacoes/estacoesautomaticas>>. Acesso em: 17 jul. 2020.
- KOUTSOYIANNIS, D.; KOZONIS, D.; MANETAS, A.** *A mathematical framework for studying rainfall intensity-duration-frequency relationships*. Journal of Hydrology, v. 206, n. 1-2, p. 118-135, 1998.
- LEE, J. Y. et al.** *Quantitative analysis on the urban flood mitigation effect by the extensive green roof system*. Environmental Pollution, v. 181, p. 257-261, 2013.
- MARINGÁ.** *Lei Municipal LC N° 888, de 26 de julho de 2011. Substitui a lei complementar n° 331/99, que dispõe sobre o uso e ocupação do solo no município de Maringá e dá outras providências*. Maringá, 2011. Disponível em: <[http://www2.maringa.pr.gov.br/sistema/arquivos/geo/leis/lc\\_888\\_2011\\_uso\\_ocupacao\\_solo\\_lei\\_consolidada.pdf](http://www2.maringa.pr.gov.br/sistema/arquivos/geo/leis/lc_888_2011_uso_ocupacao_solo_lei_consolidada.pdf)>. Acesso em: 24 mai. 2022.
- MELO, G. M. I.** *Dimensionamento de Reservatórios de Detenção como controle do escoamento superficial na zona de expansão de Aracaju*. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Sergipe-Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, departamento de Engenharia Ambiental. São Cristóvão, Sergipe, 2016.
- MCCUEN, M. R.** *Hydrologic Analysis and Design*. Water Resources and Water Management/McCuen Milan Richard, HK Jermar-Prentice Hall. 1997, 814 p.
- NUNES, D. M., FONSECA, P. L., SILVA, L. P.** *Avaliação do papel dos telhados verdes no desenho e desenvolvimento urbano de baixo impacto ambiental e no controle de enchentes na Cidade do Rio de Janeiro*. Labor e Engenho, v. 11, n. 3, p. 374-393, 2017.
- PARANÁ.** *Resolução SEDEST n° 050 de 26 de agosto de 2022*. Estabelece definições, critérios, diretrizes e procedimentos para o licenciamento ambiental de empreendimentos imobiliários urbanos no território paranaense. Curitiba: Diário Oficial do Estado, 2022.
- PARANÁ.** *Lei n° 20.070 de 18 de dezembro de 2019*. Autoriza a incorporação do Instituto de Terras, Cartografia e Geologia do Paraná e do Instituto das Águas do Paraná, pelo Instituto Ambiental do Paraná, e dá outras providências. Curitiba: Diário Oficial do Estado, 2019.
- PREFEITURA DE MARINGÁ.** *Portal Geomaringá: Imagem 2014*. Maringá. Disponível em: <<http://geoproc.maringa.pr.gov.br:8090/PORTALCIDADA0/>>. Acesso 18 mai. 2022.
- PINTO, N.L. S. et al.** *Hidrologia Básica*. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 1976. 304 p.
- SHAW, E. M. et al.** *Hydrology in practice*. Spon press, 2010. 543 p.
- SILVA, P. O.; CABRAL, J. J. S. P.** *Atenuação de picos de vazão em área problema: estudo comparativo de reservatórios de detenção em lote, em logradouros e em grande área da bacia*. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 2, p. 7-18, 2014.
- SILVEIRA, A. L. L.** *Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais*. RBRH: revista brasileira de recursos hídricos, v. 10, n. 1, p. 5-23, 2005.
- TOMAZ, P.** *Dimensionamento preliminar de reservatório de detenção. Curso de Manejo de águas pluviais*. 2010. Disponível em: [http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos\\_livros/livro\\_reservatorios/capitulo10.pdf](http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/Novos_livros/livro_reservatorios/capitulo10.pdf). Acesso em: 25 mai. 2022.
- TRENBERTH, K. E. et al.** *Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data*. Journal of Hydrometeorology, v. 8, n. 4, p. 758-769, 2007.
- TUCCI, C. E. M.** *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 2. reimpressão. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943 p.
- WYCOFF, R. L.; SINGH, U. P.** *Preliminary Hydrologic Design of Small Flood Detention Reservoirs 1*. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, v. 12, n. 2, p. 337-349, 1976.
- WILKEN, P. S.** *Engenharia de drenagem superficial*. CETESB, 1978. 477 p.