

AVALIAÇÃO DO IMPACTO HIDROLÓGICO DE TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS EM UM LOTEAMENTO RESIDENCIAL

Assessment of the Hydrological Impact of Compensatory Techniques in a Residential Subdivision

Juliana Garcia Barros¹, Gustavo Gutierrez de Oliveira Rodrigues², Natália Salamoni³ e Abrahão Bernardo Rohden⁴

Resumo

Em virtude de desenvolvimento urbano, alterações nos terrenos naturais, atrelado aos problemas de ordem física, identificaram-se intercorrências inerentes aos impactos ambientais com grande percepção. O uso de grandes faixas territoriais, principalmente para construções de edificações tem gerado efeitos diretos no escoamento superficial das cidades. Diante disto, propor técnicas e alternativas para minimizar tais impactos adversos é uma das bases principais de estudos da hidrologia moderna. Neste sentido, objetivo deste trabalho foi avaliar o impacto hidráulico e hidrológico de técnicas compensatórias em um loteamento residencial localizado no município de Blumenau/SC. Neste sentido, utilizou-se o método racional para obter a vazão de pico e elaboração do hidrograma do loteamento implantado. De posse dessas informações, aplicou-se o método de Puls com base na vazão encontrada e foram pré-estabelecidas dimensões para o reservatório, constatando-se a possível eficiência do reservatório. Os reservatórios pré-estabelecidos não atenderam na primeira fase de implantação e com base nas interações realizadas, encontraram-se dimensões compatíveis para a sua aplicação. Observou-se que o uso de reservatórios é uma alternativa viável, mas que de forma isolada demanda vastas áreas para a sua aplicação ser eficiente.

Abstract

Due to urban development, changes in natural terrain, linked to physical problems, complications inherent to environmental impacts were identified with great perception. The use of large areas of land, mainly for building construction, has had direct effects on surface runoff in cities. Given this, proposing techniques and alternatives to minimize such adverse impacts is one of the main bases for modern hydrology studies. In this sense, the objective of this work was to evaluate the hydraulic and hydrological impact of compensatory techniques in a residential subdivision located in the municipality of Blumenau/SC. In this sense, the rational method was used to obtain the peak flow and prepare the hydrograph of the implemented subdivision. With this information, the Puls method was applied based on the flow rate found and dimensions for the reservoir were pre-established, verifying the possible efficiency of the reservoir. The pre-established reservoirs did not meet the requirements in the first phase of implementation and based on the interactions carried out, compatible dimensions were found for their application. It was observed that the use of reservoirs is a viable alternative, but that in isolation it requires vast areas for its application to be efficient.

Palavras-chave:

bacia de detenção, escoamento superficial, método racional e método de Puls.

Keywords:

detention basin, surface runoff, rational method and Puls method.

¹Graduada em Engenharia Civil pela Universidade de Blumenau (2023).

²Doutorando em Engenharia Ambiental (2022-2026), Mestre em Engenharia Ambiental (2022) e Graduado em Engenharia Civil (2018), Universidade de Blumenau.

³Doutoranda em Engenharia Ambiental (2023-2027), Mestre em Engenharia Ambiental (2023) e Graduada em Engenharia Civil (2020), Universidade de Blumenau.

⁴Professor Doutor em Engenharia Civil do Departamento de Engenharia Civil e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade de Blumenau.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente as regiões urbanas do Brasil priorizam o escoamento das águas pluviais para fora do perímetro urbano focando no quantitativo. Entretanto olhar somente para esse aspecto faz com que as regiões sofram com os impactos decorrentes de inundações gerando consequências sociais, ambientais e econômicas (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2005)

No ano de 2015 foi realizada a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) onde foi constatado que somente 15,28% da população brasileira vive em áreas rurais e a maior parcela, que corresponde a 84,72%, em áreas urbanas. A Região que apresenta maior índice de urbanização é a Sudeste, este sendo próximo a 93,14%. Já a respeito do menor quantitativo, a Região Nordeste se destaca, apresentando dado em cerca de 73,12%. Atualmente esse deslocamento da população continua, mas com percentuais mais baixo do que os anos anteriores (IBGE, 2015).

A busca constante por uma melhor qualidade de vida nas cidades faz com que a população urbana cresça, causando diversos impactos nas cidades, tendo a necessidade de pensar em aspectos qualitativos e quantitativos para um bom planejamento urbano. De acordo com o Centro de Estudos e Pesquisas em Engenharia e Defesa Civil (CEPED, 2016) da UFSC, os impactos são tão intensos, que no estado de Santa Catarina foram registrados no período de 1995 a 2014 um prejuízo de 17,6 bilhões de reais devido a desastres naturais associados a eventos hidrológicos extremos.

O modelo de drenagem tradicionalmente no Brasil é o higienista, efetuando a retirada da cobertura vegetal, impermeabilizando o solo, ocasionando um aumentando significativo no escoamento superficial. A água obtida é conduzida para a rede com a finalidade de escoar o mais rápido possível, gerando um aumento na velocidade atingindo a jusante, porém esse modelo é insuficiente e ineficiente. O melhor modelo de drenagem é aquele que capta o escoamento superficial e realiza a infiltração ou retenção e destina essa água de forma mais lenta, reduzindo os impactos causados a jusante (TUCCI et al., 1995).

Em outros países são observados avanços no manejo sustentável de águas pluviais com o objetivo de focar na redução e prevenção dos impactos gerados pela urbanização desde a concepção do projeto (TUCCI; MELLER, 2007) sendo realizadas o uso de medidas estruturais. Desta forma, pode-se citar que a aplicação de cobertura vegetal e as técnicas compensatórias, as quais são medidas estruturais, demonstram potencial de economia e causam um menor impacto ambiental (BAPTISTA et al., 2011).

No Brasil foi criada a Lei Federal nº 10.257 de 10 de julho de 2001 regulamentando que o município precisa corrigir os impactos causados nas áreas urbanas devido ao seu crescimento. Pode-se exemplificar a cidade de Blumenau, a qual sofre com muitos danos decorrentes das inundações bruscas, e além da Lei Federal citada, foi criada em Blumenau a Lei Complementar nº 1.392 de 17 de dezembro de 2021 que estabelece diretrizes para aplicação da Quota de drenagem sustentável que é a composição da cobertura vegetal e a implementação de técnicas compensatórias na rede de drenagem. Os exemplos de técnicas compensatórias são os pavimentos permeáveis, as valas de infiltração, os poços de infiltração, além das bacias de retenção.

Em virtude da reduzida quantidade de dados acerca das técnicas compensatórias na cidade de Blumenau, essa pesquisa teve como objetivo geral foi avaliar o impacto hidráulico e hidrológico de técnicas compensatórias em um loteamento residencial localizado no município de Blumenau/SC. Desta forma, foi conduzido um estudo para estimar a vazão efluente do reservatório de retenção em cada bacia de contribuição.

2. TÉCNICAS COMPENSATÓRIAS

As técnicas compensatórias são dispositivos que visam fazer a complementação da drenagem comum que são as tubulações, podendo ser combinada com mais de um dispositivo, dependendo da necessidade e tem a finalidade de amortizar a vazão de pico fazendo a infiltração ou o armazenamento e retenção da água devido ao aumento do escoamento superficial.

Existem diversas técnicas compensatórias (TCs) como reservatório de detenção, trincheiras de infiltração, pavimentos permeáveis, valas de infiltração entre outros (TASSI; PICCILLI; BRANCHER; ROMAN, 2016).

As valas de infiltração são elementos lineares simples, podendo sua estrutura ser escavada ou em depressões cobertas por grama ou descobertas, cuja finalidade é realizar a infiltração da água na área de contato ao longo do seu comprimento (CARVALHO; GITIRONA JUNIOR; CARVALHO, 2012). Acerca das vantagens dessa técnica que além de apresentar fácil e rápida execução, tem um baixo custo, além de aumentar o tempo de concentração, propicia redução na velocidade do escoamento, e conseqüentemente, diminui os picos de enchentes. Entretanto, esta técnica também apresenta desvantagens, principalmente acerca do solo, que precisa ter uma alta taxa de permeabilidade, deve-se evitar o acúmulo de lixo na sua estrutura, minimizar o entupimento da área permeável sendo necessária manutenções periódicas (PINTO, 2011).

Outra técnica compensatória é a trincheira de infiltração, que se trata de uma estrutura semelhante a vala de infiltração, sua estrutura é composta por agregado graúdo sendo as britas ou pedras de mãos onde há vazios que armazenam temporariamente a água para que seja infiltrada no solo (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). A vala e a trincheira de infiltração são TCs semelhantes, elas podem ser aplicadas juntas, tal razão se dá em virtude de a vala apresentar-se de forma mais superficial e não é possível armazenar água e a trincheira demanda de uma estrutura enterrada onde é realizado a armazenagem da água através dos vazios existentes sendo sua seção transversal em formato quadrado ou retangular para realizar a infiltração no solo.

O pavimento permeável é outra técnica compensatória que pode ser implementada nas cidades, pois representa cerca de 30% da área de uma bacia de drenagem e tem a finalidade de realizar o armazenamento temporário e a infiltração no solo (TOMINAGA, 2013). A grande vantagem desta técnica é remover grande parte dos poluentes e sedimentos. Entretanto, também apresenta desvantagens, principalmente acerca do seu uso em vias para cargas pesadas e de fluxos intensos, além da provável contaminação do lençol freático, devido aos metais pesados e a necessita de manutenções constante para que não ocorra a colmatação dos vazios (ADASA, 2018).

Outra técnica compensatória que pode ser utilizada é a bacia de detenção (Figura 4) que amortece as ondas de cheias decorrente da impermeabilização do solo devido a urbanização (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015). Essa técnica tem a finalidade de realizar a detenção por um curto período, em que, posteriormente, a água coletada é destinada para a rede de drenagem ou o curso hídrico de modo que seja reduzida a vazão efluente, sendo necessário dimensionar para que esvazie até a próxima precipitação intensa (ADASA, 2018).

A vantagem da aplicação dessa técnica é que amortece o escoamento através retardamento da vazão de saída do reservatório e promove a remoção parcial de poluentes. Ao mesmo tempo, demonstra desvantagem, principalmente ao caso desses poluentes contaminarem um ecossistema podendo gerar um desequilíbrio, gerando mau cheiro e possibilitando o risco de proliferação de doenças (ADASA, 2018).

Em relação a qualidade da água, por ficar armazenada por um período curto, proporciona a remoção dos microrganismos patogênicos devido a ligações clandestinas na rede de drenagem. Além de

melhorar a turbidez, promover o aumento da concentração de oxigênio dissolvido, diluindo a concentração do fósforo e nitrato entre outros nutrientes (MATIAS 2006). Entretanto, a remoção dos poluentes contidos na água pode não ser efetiva devido ao tempo de armazenamento ser pequeno.

No aspecto quantitativo, a bacia de detenção é consideravelmente maior do que as outras técnicas devido a sua estrutura de armazenamento ser maior, sendo possível gerar um amortecimento da vazão de saída muito grande (CANHOLI, 2005; BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2015).

O uso das técnicas compensatórias demonstra se tratar de aspectos com grande relevância para minimização dos efeitos adversos. Neste sentido, é importante que se conheça os principais aspectos inerentes a cada técnica. Para tanto, elaborou-se o Quadro 1 que retrata alguns dos aspectos mais importantes.

A vala de infiltração, trincheira de infiltração, pavimento permeável e bacia de retenção são exemplos de medidas de controle na fonte. Os controles na fonte estão localizados próximos dos pontos de geração do escoamento superficial, possuem pequeno porte e tem a finalidade de reduzir o volume de água destinado instantaneamente para o corpo hídrico (CANHOLI, 2005).

Ao analisar o Quadro 1 é possível verificar que cada técnica tem finalidade diferente, como infiltração e/ou armazenamento, todas fazendo seu controle na fonte, pertencendo da microdrenagem ou da macrodrenagem. A vala de infiltração, a trincheira de infiltração e o pavimento permeável fazem o controle na fonte pertencendo a microdrenagem onde realiza a infiltração no solo e também o armazenamento variando a quantidade de acordo com a técnica, porém a bacia de detenção não realiza a infiltração no solo permitindo ser implantada em solos com baixa permeabilidade, a principal função é realizar o controle na fonte da macrodrenagem onde é realizado o armazenamento da água sendo liberada aos poucos para que aumente o tempo que será liberada.

Quadro 1 – Aspectos das técnicas compensatórias

Técnica Compensatória	Infiltração	Armazenamento	Controle na fonte	Microdrenagem	Macrodrenagem
Vala de infiltração	X	X	X	X	
Trincheira da infiltração	X	X	X	X	
Pavimento permeável	X	X	X	X	
Bacia de detenção	X	X	X		X

Fonte: Adaptado de (ADASA 2018)

Cada dispositivo é adaptável a necessidade da região, o tipo de solo, a área disponível para a implantação, podendo ser combinados mais de um tipo. Na hora de realizar a escolha de qual dispositivo utilizar, deve-se considerar as suas características, a implantação, a funcionalidade de operação e a manutenção, devendo ser a mais simples possível, a confiabilidade de que o sistema consegue satisfazer a demanda e a flexibilidade de adaptação aos eventos indesejados (CANHOLI, 2005).

Aplicando somente o reservatório de detenção no lote, demanda-se um grande volume a ser armazenado, se mostrando ineficiente e inaplicável. Se utilizado o reservatório em conjunto com um jardim rebaixado, por exemplo, o qual demonstra um comportamento similar a vala de infiltração, onde alinhando-se as técnicas realiza-se o armazenamento da água pelo reservatório e extravasado para o jardim cumprindo-se a sua finalidade e a vazão efluente se aproxima de zero (VASCONCELOS; MIGUEZ; VAZQUEZ, 2016). Salienta-se que as técnicas escolhidas sempre são consideradas os parâmetros do solo verificando a taxa de permeabilidade.

3. MÉTODOS – RACIONAL E PULS

O método racional foi apresentado pela primeira vez por Mulvaney em 1851, e somente aplicado em 1889 por Emil Kuichling para o cálculo de vazão de pico por uma relação entre a precipitação e o escoamento superficial conforme a Equação 1 para uma bacia hidrográfica menor ou igual a três quilômetros quadrados.

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3600} \quad (1)$$

Onde: Q = vazão de pico (m³/s); C = coeficiente escoamento médio (admissional); I = intensidade média máxima da chuva (mm/h); A = área de contribuição (m²).

Portanto é necessário calcular a intensidade média máxima da chuva (Equação 2) que será aplicada Equação 1.

$$I = \frac{k \cdot Tr^m}{(tc+b)^n} \quad (2)$$

Onde: I = intensidade média máxima da chuva (mm/h); Tr = período de retorno (anos); t_c = duração da chuva (minutos); K, m, b, n = parâmetros da equação determinados para cada local.

Antes calcular a intensidade média máxima da chuva é necessário descobrir o tempo de concentração, sendo o tempo que a primeira gota na precipitação leva para chegar até a boca de lobo e passar toda a rede de drenagem que são os tubos até o desague final no corpo receptor ou na cota mais baixa, utilizando fórmulas empíricas para determiná-lo considerando as incertezas e imperfeições do terreno (ARAÚJO, 2011). A fórmula Kirpich (Equação 3) a mais utilizada para esse cálculo de uma bacia onde ocorre somente um fluxo principal (KIRPICH, 1940).

$$t_c = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad (3)$$

Sendo t_c = tempo de concentração (min); L = comprimento do talvegue (km); H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

Para o dimensionamento de bacia de detenção, que é uma técnica compensatória, o uso do método de Puls é de grande relevância. Para o seu uso, necessita-se que sejam dimensionadas as estruturas de descargas, o descarregador de fundo e o vertedor, com a finalidade de realizar a redução da vazão de pico e diminuir os impactos decorrentes das inundações bruscas.

O vertedor é localizado na região superior do reservatório. O descarregador de fundo tem a finalidade de eliminar o volume acumulado após uma precipitação intensa (COLLISHCONN; DORLELLES, 2015), também tem a finalidade de esvaziar a bacia quando o vertedor ainda não foi acionado devido a sua altura. Para determinar a vazão do vertedor depende que a lâmina ultrapasse a soleira, conforme a Equação 5 e a vazão do orifício de fundo com a Equação 6 (ARAÚJO et al., 2022).

$$t_c = 57 \cdot L^{1,155} \cdot H^{-0,385} \quad (4)$$

Sendo t_c = tempo de concentração (min); L = comprimento do talvegue (km); H = diferença de cotas entre a saída da bacia e o ponto mais alto do talvegue (m).

O coeficiente de Runoff também conhecido como coeficiente de escoamento superficial, será es-

colhido de acordo com as características do solo que influenciam na escolha, como a compactação, porosidade, declividade, vegetação e depressões onde as águas ficaram depositadas (TOMAZ, 2012), contemplando outras características elencadas como área impermeável, duração da chuva, intensidade da chuva, frequência, finalidade de uso do solo, interceptação, entre outras (WILKEN, 1978).

Para o dimensionamento de bacia de detenção, que é uma técnica compensatória, o uso do método de Puls é de grande relevância. Para o seu uso, necessita-se que sejam dimensionadas as estruturas de descargas, o descarregador de fundo e o vertedor, com a finalidade de realizar a redução da vazão de pico e diminuir os impactos decorrentes das inundações bruscas. (ARAUJO et al., 2022).

O vertedor é localizado na região superior do reservatório. O descarregador de fundo tem a finalidade de eliminar o volume acumulado após uma precipitação intensa (COLLISHCONN; DORLELLES, 2015), também tem a finalidade de esvaziar a bacia quando o vertedor ainda não foi acionado devido à sua altura (ARAUJO et al., 2022).

Para determinar a vazão do vertedor depende que a lâmina ultrapasse a soleira, conforme a Equação 5 e a vazão do orifício de fundo com a Equação 6 (ARAUJO et al., 2022).

$$Q = C \cdot L \cdot (H^{\frac{3}{2}}) \quad (5)$$

Onde: L = largura do reservatório subtraído duas vezes as paredes; H = diferença de altitude ou cota entre o nível de água (NA) e o vertedor; C = coeficiente de descarga de 1,8.

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (6)$$

Sendo: A = área da seção transversal do orifício; g = aceleração da gravidade adotado 9,81 m²/s; C = coeficiente empírico com valor que depende da relação entre h e o diâmetro do orifício; sendo h a diferença de altura entre o NA e o eixo do descarregador de fundo.

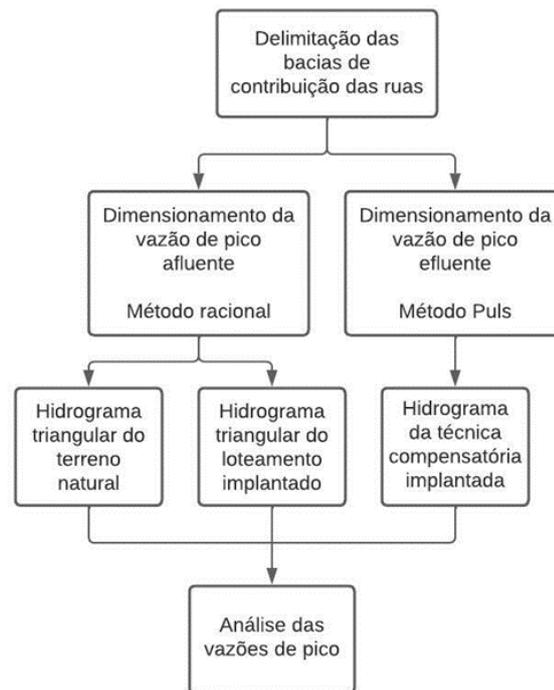
Quando o valor de h é maior do que 3 vezes o diâmetro do orifício, o valor de C se aproxima de 0,6. E quando o valor de h é próximo ao diâmetro do orifício, o valor de C se aproxima de 0,5 (COLLISHCONN; DORLELLES, 2015).

De acordo com Collischonn (2013) o roteiro para aplicar o método de Puls precisa seguir as seguintes etapas: (1) determinar o intervalo de tempo de cálculo; (2) obter os dados de entrada para cada intervalo de tempo; (3) elencar a relação entre o volume e a cota do reservatório, sendo necessário discriminar em uma tabela a cota do fundo até a capacidade máxima do reservatório; (4) contemplar na mesma tabela informações do volume extravasado pelo vertedor; relacionar 2S/Δt+Q com cada cota o termo obtido através da substituição dos parâmetros do volume, o intervalo de tempo (utilizar sempre o mesmo intervalo para todos os cálculo) e a vazão de saída, calculado para cada intervalo de tempo até o final deste; (5) O t = 0 considerar o nível inicial do reservatório; após a determinação desse termo 2S/Δt+Q aplicando a Equação 1, obtendo os valores de vazão e volume armazenado no intervalo de tempo até o intervalo final, é um processo de interpolação a partir da tabela gerada até o (4) devendo ser realizado esse processo de interação para todos os intervalos de tempo.

4. METODOLOGIA

Para desenvolvimento da metodologia vista como propícia para este trabalho, elaborou-se um fluxograma que contém as fases de especificação correspondentes as etapas trabalhadas (Figura 1).

Figura 1 - Fluxograma metodológico do trabalho



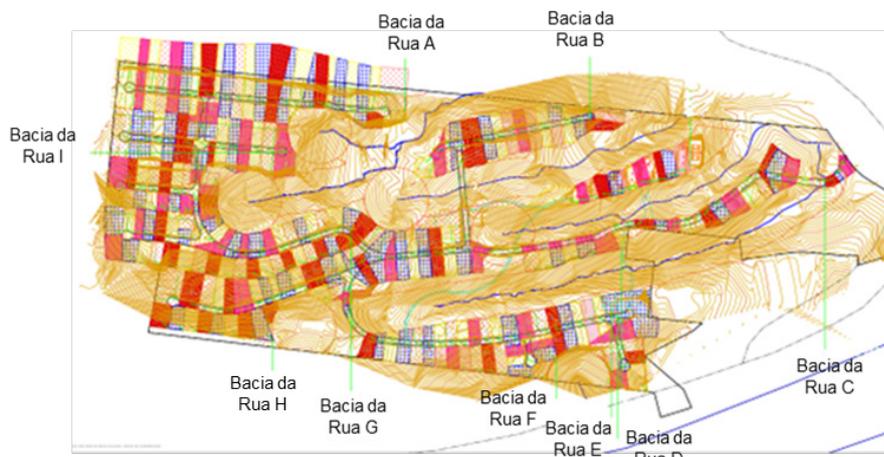
Fonte: Autores (2022)

Conforme a Figura 1, observa-se que através do projeto do loteamento traçado serve de base para a delimitação das áreas de contribuições para a implementação dos reservatórios de retenção, onde estes são dimensionados a partir da vazão que é calculada pelo método racional. Com as vazões calculadas são gerados os hidrogramas triangular do loteamento implantado e fazendo uma breve comparação da vazão com a vegetação da região. O método de Puls é aplicado para bacias de retenção que tem como principal objetivo atenuar o pico de cheia gerado pelo hidrograma triangular com o loteamento implantado. Utilizando as vazões de picos obtidas pelo método racional comparada com a vazão de pico da técnica compensatória aplicada.

O loteamento estudado localiza-se no município de Blumenau, no Estado de Santa Catarina, contendo 267 lotes, 6 nascentes e 5 corpos hídricos separados em 9 bacias de contribuições. Em virtude de se tratar de um loteamento de grandes dimensões a faixa apresentada é reduzida.

Para os lotes foram adotadas técnicas compensatórias de forma individual para que o coeficiente de escoamento médio se igualasse ao solo natural, fazendo com que as bacias de retenção apresentassem a finalidade de retardar o escoamento superficial, principalmente nas vias e calçadas provenientes da sua impermeabilização. (colocar do tempo de concentração para poder avisar a população.

Figura 2 – Área estudada



Fonte: Autores (2022)

Baseado no fluxograma proposto, realizaram-se as divisões das bacias hidrográficas das nove ruas deste loteamento. Para tanto, extensões como: área comum impermeável, área dos lotes, área verde, área de preservação permanente e área total foram representadas e mensuradas conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Áreas consideradas na avaliação

Bacia	Comum impermeável (m ²)	Lotes (m ²)	Verde (m ²)	Área de Proteção Permanente (m ²)	Total (m ²)
Rua A	5118,50	22686,35	21119,46	209,93	49134,24
Rua B	7110,79	12340,37	2803,49	0,00	22254,64
Rua C	11083,80	24019,78	1691,67	629,37	37424,62
Rua D	5216,46	8643,82	12504,19	11,93	26376,40
Rua E	556,71	8301,10	0,00	0,00	8857,81
Rua F	2806,15	15123,74	0,00	0,00	17929,89
Rua G	2806,15	14916,47	2311,30	100,26	20134,18
Rua H	2445,69	15238,81	1532,02	0,00	19216,53
Rua I	889,75	5774,74	0,00	0,00	6664,49

Fonte: Autores (2022)

O primeiro parâmetro calculado é o tempo de concentração pela Equação 3 posteriormente é calculado a intensidade média máxima da chuva (Equação 2). O município de Blumenau contém 3 estações pluviométricas, para tanto a escolha dos dados correspondeu a estação que mais se aproximava da região de estudo. Neste sentido, os parâmetros utilizados para o cálculo da intensidade média máxima da chuva, $k = 782,4$, $m = 0,193$, $b = 9$ e $n = 0,7$ estabelecidos pela estação pluviométrica de número 17 (BACK; BONETTI, 2014). O período de retorno (T_r) foi considerado de 25 anos, por se tratar de elemento de macrodrenagem.

Para aplicar o método racional estabeleceu-se que os lotes teriam técnicas compensatórias e cobertura vegetal conforme determina a Lei Complementar nº 1.392 de 17 de dezembro de 2021 de Quota de drenagem sustentável na parte de microdrenagem, fazendo o controle na fonte. Os coeficientes de Runoff considerados para área comum impermeável (0,95), lotes (0,2), área verde (0,3) e área de preservação permanente (0,2) foram adotados em virtude de se tratar de uma região mais compactada reduzindo a sua permeabilidade. Na Tabela 2 constam todos os parâmetros elencados anteriormente.

Tabela 2 - Parâmetros calculados

Bacia	t_c (min)	Área (m ²)	I (mm/h)	$C_{\text{médio}}$	Q (m ³ /s)
Rua A ¹	7,00	49134,24	207,69	0,32	0,91
Rua A ²	7,00	49134,24	207,69	0,20	0,57
Rua B ¹	8,00	22254,64	197,97	0,45	0,55
Rua B ²	8,00	22254,64	197,97	0,20	0,24
Rua C ¹	8,00	37424,62	196,86	0,43	0,87
Rua C ²	8,00	37424,62	196,86	0,20	0,41
Rua D ¹	8,00	26376,40	200,66	0,40	0,58
Rua D ²	8,00	26376,40	200,66	0,20	0,29
Rua E ¹	7,00	8857,81	208,10	0,25	0,13
Rua E ²	7,00	8857,81	208,10	0,20	0,10
Rua F ¹	6,50	17929,89	211,23	0,31	0,33
Rua F ²	6,50	17929,89	211,23	0,20	0,21
Rua G ¹	6,50	20134,18	213,99	0,32	0,38
Rua G ²	6,50	20134,18	213,99	0,20	0,24
Rua H ¹	6,50	19216,33	207,02	0,30	0,34
Rua H ²	6,50	19216,33	207,02	0,20	0,22
Rua I ¹	6,50	6664,49	213,12	0,30	0,12
Rua I ²	6,50	6664,49	213,12	0,20	0,08

¹ – Loteamento implantado, ² – Vegetação nativa

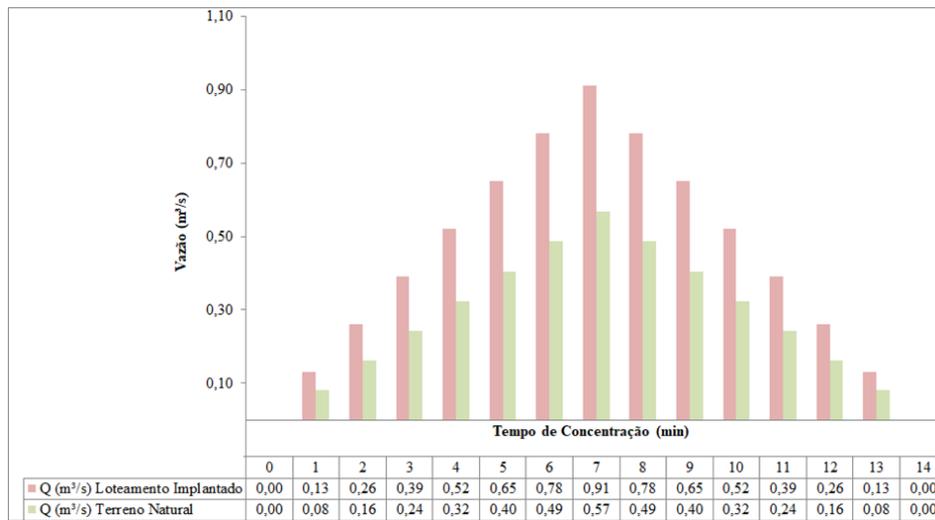
Fonte: Autores (2022)

De posse das áreas e parâmetros obtidos, foi possível a obtenção dos hidrogramas com as respectivas vazões, tanto no loteamento implantado quanto no terreno natural, em conjunto com a possibilidade de reservatório de detenção. Ao serem observados estes fatores, foram constados os parâmetros para as bacias de detenção para as ruas estudadas, bem como as suas dimensões.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Acerca do tempo de contribuição, este se aproximou em 7 min, o qual corresponde ao tempo máximo da vazão de pico. Desta forma, a análise foi realizada em divisões por minutos para obtenção do hidrograma triangular para a vazão de pico do loteamento implantado e com a vegetação nativa (Figura 3).

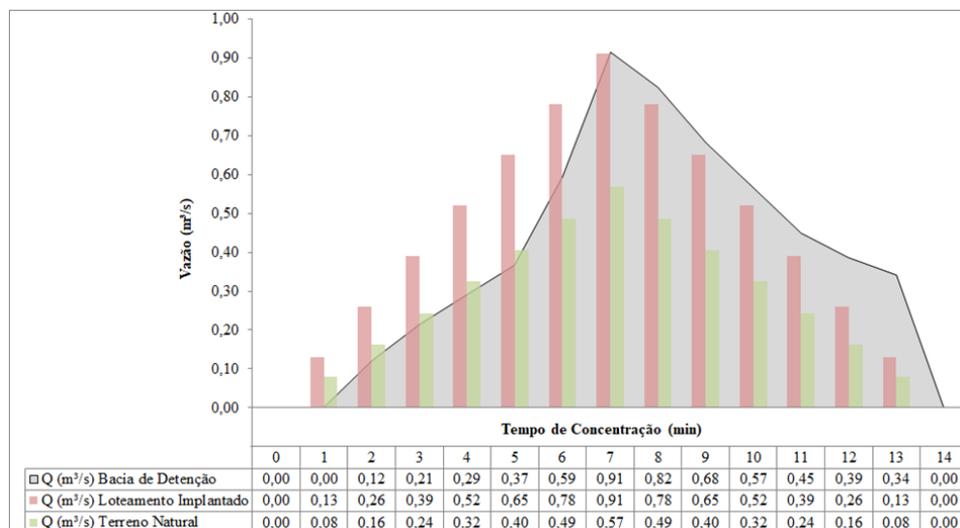
Figura 3 - Hidrograma com a vazão do loteamento implantado e o terreno natural



Fonte: Autores (2022)

A vazão de pico com o loteamento implantado resultou em uma adição de 0,34 m³/s devido as áreas das ruas serem impermeáveis e impossibilitando a infiltração devido ao aumento do escoamento superficial. Baseado nisto, foram estabelecidas as dimensões do reservatório para posterior aplicar a equação do método de Puls para analisar a vazão de pico com o reservatório aplicado. Portanto, obtém-se a Figura 4 da relação o intervalo de tempo de concentração versus a vazão.

Figura 4 - Hidrograma com reservatório de detenção



Fonte: Autores (2022)

Acerca das análises que podem ser visualizadas com as primeiras dimensões propostas de reservatório, constata-se que as serem analisadas as vazões dispostas no Loteamento implantado estas não são atendidas com as dimensões propostas. Em virtude deste contraponto, realizaram-se modelagens de dados para alcance das dimensões propícias de reservatórios para atendimento das vazões, tanto em termos de loteamento implantado quanto terreno natural.

Com base nos roteiros de cálculo previstos, bem como as aplicações das equações, foram deter-

minados os parâmetros necessários para cálculo da vazão através do método racional e observância dos hidrogramas gerados. Desta forma, obtiveram-se os parâmetros considerados para a bacia de detenção (Tabela 2) e, posteriormente, foram calculados os volumes correspondentes bem como as dimensões das bacias de detenção (Tabela 3).

Tabela 3 - Dimensões das bacias de detenção

Bacias	Área de contribuição (m ²)	Volume útil (m ³)	Dimensões				
			C (m)	L (m)	h (m)	φ _s (mm)	φ _{ent} (mm)
Rua A	49134,24	86,78	22,60	1,60	1,60	100	800
Rua B	20134,18	72,13	19,60	1,60	1,50	75	800
Rua C	19216,53	82,66	24,60	1,60	1,50	100	600
Rua D	22254,64	175,23	29,60	1,60	3,10	150	600
Rua E	8857,81	8,06	9,60	0,60	1,00	50	400
Rua F	6664,49	13,82	9,60	0,80	1,40	50	400
Rua G	26376,40	175,23	29,60	1,60	3,10	100	600
Rua H	37424,62	261,10	19,60	3,60	2,90	150	600
Rua I	17929,89	68,99	19,60	1,60	1,60	100	600

C = comprimento (m); L = largura (m); h = altura (m); φ_s (mm) = diâmetro de saída (mm); φ_{ent} (mm) = diâmetro de entrada (mm).

Fonte: Autores (2022)

As dimensões estipuladas são dimensões internas do reservatório descontando as paredes, com as novas dimensões foram geradas as vazões novamente aonde ela chegou bem próxima a vazão de pico no terreno natural conforme a Tabela 4.

Tabela 4 - Vazões dos reservatórios

Bacias	Q _{máx} (m ³ /s)	Q _{rest} (m ³ /s)	Q _{téc} (m ³ /s)	Q _{máx} - Q _{téc}	Q _{téc} - Q _{rest}
Rua A	0,91	0,57	0,56	0,35	-0,01
Rua B	0,38	0,24	0,23	0,15	-0,01
Rua C	0,34	0,22	0,22	0,12	0,00
Rua D	0,55	0,24	0,25	0,30	0,01
Rua E	0,13	0,10	0,10	0,03	0,00
Rua F	0,12	0,08	0,50	-0,38	0,42
Rua G	0,58	0,29	0,30	0,28	0,01
Rua H	0,87	0,41	0,39	0,48	-0,02
Rua I	0,33	0,21	0,20	0,13	-0,01

Fonte: Autores (2022)

Em virtude de as dimensões dos reservatórios apresentarem geometrias com grandes dimensões, observa-se que a vazão do reservatório foi igualada ao visto no terreno natural. Quando contrasta em termos de vazão máxima do loteamento implantado, observa-se que este dado ficou distante, o que representa um alternativa importante, principalmente para não causar impactos na região a jusante que foi estudada.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que a aplicação de técnicas compensatórias para minimização dos efeitos adversos causados são de grande importância. Dentre as principais conclusões que podem ser

retiradas é que o uso do Método Puls traz inúmeras alternativas, haja vista se tratar, do dimensionamento de reservatórios de detenção, atrelando considerações acerca dos diâmetros das tubulações de entrada e saída, estes não devendo ser iguais, em virtude do seu funcionamento não se assemelhar a uma caixa de passagem.

Outro aspecto analisado foi com relação ao uso vertedor, utilizado diretamente no reservatório. Aspectos inerentes ao nível de água que direciona a vazão oriunda das chuvas ou quando apresenta maior volume útil, o uso de vertedores demonstrou se tratar de grande relevância para o escoamento, mas que o escoamento é realizado de forma mais rápida, esvaziando o reservatório em menor intervalo de tempo.

Constatou-se que o uso de reservatórios é uma alternativa viável, no entanto, em virtude das grandes dimensões necessárias para que ele disponha de área útil de aplicação, o seu emprego de forma isolada demonstra restrições, principalmente por demandar grandes espaços. Tal situação, conforme visto no referencial teórico, pode ser resolvido com o uso em conjunto de mais de uma técnica compensatória, para que ambas trabalhem de forma concisa.

Além disto, a implantação de grandes reservatórios deve ser ponderada, principalmente em loteamentos já implantados, pois por demandar grandes áreas de aplicação, a sua ativação pode se tornar inviável ao demandar regiões com faixas de terras consideráveis.

Por fim, conclui-se que o método Puls é uma importante alternativa para a aplicação de técnicas compensatórias, e conforme previsto pela Prefeitura de Blumenau, em termos da Lei complementar 1392 de 2021, que retrata o uso da Quota de drenagem sustentável atrelado ao uso de Cobertura vegetal, a sua aplicação deve ser realizada com maior frequência, em virtude da possibilidade de variadas geometrias serem desenvolvidas para estas soluções.

Diante da necessidade de serem identificadas alternativas para reduzir os efeitos adversos gerados pelo aumento do escoamento superficial, sugere-se como trabalhos futuros a otimização dos reservatórios de detenção para as menores dimensões possíveis e aplicar outras técnicas compensatórias em conjunto com o uso de cobertura vegetal.

7. REFERÊNCIAS

ADASA, Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal (2018). **Manual de drenagem e manejo de águas pluviais urbanas do Distrito Federal**. In: Yazaki, L. F. O.; Montenegro, M. H. F.; Costa, J. da. (eds.). UNESCO, Distrito Federal, 333 p.

ARAÚJO, B. A. M.; SILVEIRA, C. S.; SOUZA, J. L.; MAIA JÚNIOR, J. V. F.; ALMEIDA, F. A. F.; STUDART, T. M. C. **Análise do tempo de concentração em função das características fisiográficas em bacias urbanas**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, p. 1-18, 2011.

ARAUJO, Ana Carolina da Silva *et al.* **Aplicação do Método de Puls no Amortecimento de Cheias – Carangola (MG)**. XIV ENAU - Encontro Nacional de Águas Urbanas e IV SRRU - Simpósio de Revitalização de Rios Urbanos, p. 1-9, 2022.

BACK, Á.; BONETTI, A. Chuva de projeto para instalações prediais de águas pluviais de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 260-267, 2014.

BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. O. **Técnicas compensatórias em drenagem urbana**. Porto Alegre: ABRH, 2005. 266 p.

BAPTISTA, M. B.; BARRAUD, S.; NASCIMENTO, N. O. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. 2 edições. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2015.

CANHOLI, A. P. **Drenagem Urbana e Controle de Enchentes**. 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

CARVALHO, J. C. DE; GITIRONA JUNIOR G. DE F. N.; CARVALHO, E. T. L. 2012. **Tópicos Sobre Infiltração: Teoria e Prática Aplicadas a Solos Tropicais**. Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília-DF, 672 p.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia para engenharia e ciências ambientais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. HERNANDEZ, V. Propagação de Enchentes em Reservatórios – Método Direto. RBRH, v. 12, n. 2, p. 115 – 122, 2007.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. **População Rural e Urbana**, Rio de Janeiro: IBGE, 2015.

TASSI, R.; PICCILLI, D. G. A.; BRANCHER, S. C.; ROMAN, C. A. **Preferências da população de diferentes estratos sociais no manejo das águas pluviais urbanas**. Ambiente Construído, [S.L.], v. 16, n. 3, p. 39-52, set. 2016.

TOMINAGA, E. N. S. **Urbanização e cheias: medidas de controle na fonte**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 2013.

TUCCI, C. E. M.; PORTO, R. L. L.; BARROS, M. T. **Drenagem Urbana**. Porto Alegre: Editora da Universidade, 1995.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. Critérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.L.], v. 21, n. 4, p. 655-662, 2016.

WILKEN, P. S. **Engenharia de Drenagem Superficial**. São Paulo, Cetesb, 1978.