

**Jardins de infiltração: Um estudo de caso quanto ao impacto no escoamento superficial**

*Infiltration gardens: A case study on the impact on runoff*

*Jardines de infiltración: Un estudio de caso sobre el impacto en la escorrentía*

**Michele Carla Nadal**

Doutoranda em Fitotecnia, UFLA, Brasil.  
michecn@gmail.com

**José Henrique Nunes Flores**

Professor Doutor, UVM, Chile.  
josenuesflores@hotmail.com

**Gustavo Borges Lima**

Mestrando em Recursos Hídricos, UFPel, Brasil.  
gu\_poa@hotmail.com

**Rodrigo Antônio de Abreu**

Estudante de Engenharia Florestal, UFLA, Brasil.  
rodrigo212129@gmail.com

**Michele Valquíria dos Reis**

Professora Doutora, UFLA, Brasil.  
michele.reis@ufla.com.br

**RESUMO**

O aumento da urbanização tem alterado os serviços ecossistêmicos em áreas urbanas de todo o mundo. A cada ano, problemas de inundações são mais frequentes e a demanda por soluções de drenagem urbana de baixo impacto e que agreguem bem-estar às cidades é crescente. A fim de auxiliar os gestores de pequenas cidades no planejamento urbano, este trabalho teve como objetivo aplicar uma metodologia de cálculo simplificada capaz de prever o comportamento do escoamento superficial, após eventos de chuva. Para isso, foi estimado o hidrograma de projeto, através de simulações hidrológicas, de uma bacia de escoamento em bairro na cidade de Lavras (Minas Gerais/Brasil) considerando diferentes configurações de jardins de infiltração. Os resultados obtidos mostram que os jardins de infiltração propostos podem ocupar até 6,9% da área estudada, ou 42% das áreas de caixa de via. Esse aumento na área permeável resulta na redução de até 37% da precipitação efetiva e 41% da vazão de pico do hidrograma de projeto. Há um efeito no aumento do tempo de pico de 9,4% e a duração do escoamento superficial de 7,3%. Concluímos que a metodologia simplificada utilizada consegue demonstrar o impacto dos jardins de infiltração no escoamento superficial da água em uma bacia de escoamento. A presença dos jardins de infiltração amortiza o hidrograma gerado por um evento de precipitação, através da redução da precipitação efetiva.

**PALAVRAS-CHAVE:** Áreas verdes. Jardim de chuva. Planejamento urbano.

**ABSTRACT**

*Increasing urbanization has altered ecosystem services in urban areas around the world. Every year, flooding problems are more frequent and the demand for low-impact urban drainage solutions that add well-being to cities is growing. In order to assist small town managers in urban planning, this work aimed to apply a simplified calculation methodology capable of predicting the behavior of runoff after rain events to assist small town managers in urban planning. For this, project hydrograph was estimated, through hydrological simulations, of neighborhood catchment in the city of Lavras (Minas Gerais/Brazil) considering different configurations of infiltration gardens apply a simplified calculation methodology capable of predicting the behavior of runoff after rain events to assist small town managers in urban planning. Proposed infiltration gardens can occupy up to 6.9% of the studied area, or 42% of the street areas. This increase in the permeable area results in a reduction of up to 37% of the effective precipitation and 41% of the peak flow of the project hydrograph. There is an effect of increasing the lag time by 9.4% and the duration of runoff by 7.3%. The simplified methodology used can demonstrate the impact of rain gardens on runoff in a neighborhood catchment. The presence of rain gardens amortizes the hydrograph generated by a precipitation event, by reducing the effective precipitation.*

**KEYWORDS:** Green areas. Rain Garden. Urban planning.

**RESUMEN**

*La creciente urbanización ha alterado los ecosistemas en las áreas urbanas de todo el mundo. Cada año, los problemas de inundaciones son más frecuentes y crece la demanda de soluciones de drenaje urbano de bajo impacto que aporten bienestar a las ciudades. Con el fin de ayudar a los administradores de pueblos pequeños en la planificación urbana, este trabajo tuvo como objetivo aplicar una metodología de cálculo simplificada capaz de predecir el comportamiento de la escorrentía después de eventos de lluvia para ayudar los administradores de pequeñas ciudades en la planificación urbana. Para eso, el hidrograma del proyecto se estimó, mediante simulaciones hidrológicas, de una cuenca de drenaje en un barrio en Lavras (Minas Gerais/Brasil) considerando diferentes configuraciones de jardines de infiltración. Los jardines de infiltración propuestos pueden ocupar hasta el 6,9% del área estudiada, o el 42% de las áreas de caja de vía. Este aumento en el área permeable da como resultado una reducción de hasta el 37% de la precipitación efectiva y el 41% del caudal máximo del hidrograma del proyecto. Hay un efecto de aumentar el tiempo pico en 9,4% y la duración de la escorrentía en 7,3%. Concluimos que la metodología simplificada utilizada es capaz de demostrar el impacto de los jardines de infiltración en la escorrentía de agua superficial en una cuenca de escorrentía. La presencia de los jardines amortiza el hidrograma generado por un evento de precipitación, al reducir la precipitación efectiva.*

**PALABRAS CLAVE:** Áreas verdes. Jardín de lluvia. Planificación urbana

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades é uma realidade com a qual nos deparamos diariamente, como munícipes ou como gestores. Este processo de urbanização aumenta as superfícies impermeáveis, a partir da necessidade de construção de estradas, rodovias e edificações. Na medida que ocorre a substituição das áreas permeáveis por áreas impermeáveis, ocorre a diminuição da infiltração da água da chuva no solo e um aumento no volume no escoamento superficial. Estas alterações no uso de solo provocam mudanças no ciclo hidrológico, que somadas às mudanças nos padrões climáticos estão sobrecarregando a capacidade da infraestrutura existente e colocando pessoas e propriedades em risco (O'NEILL; CAIRNS, 2016).

Nesse sentido, é fundamental o planejamento adequado dos sistemas de drenagem urbana, pois a falta de planejamento infra estrutural pode refletir em diversos problemas de diferentes ordens, um dos mais recorrentes são as inundações que acontecem principalmente devido a impermeabilização do terreno interferindo no processo de escoamento superficial. As inundações podem representar impactos econômicos enormes, com prejuízos que podem superar o PIB municipal (CORSI; AZEVEDO; GRAMANI, 2012).

Além disso, com o aumento da frequência de eventos extremos de chuvas, o aumento de inundações urbanas passou a se tornar mais frequente e intenso. A fim de mitigar os impactos de longo prazo da urbanização e das mudanças climáticas, para uma gestão sustentável de águas pluviais foi sugerida como uma estratégia alternativa o uso de infraestruturas verdes (LI et al., 2017; DOUGLAS, 2018; LI; BERGEN, 2018; THORNE et al., 2018).

Diversas opções de sistemas e construções podem ser utilizadas por gestores para a redução das áreas impermeabilizadas e manejo sustentável dos recursos hídricos (BATTEMARCO et al., 2018; ALVES FERREIRA NETO et al., 2019), sendo que dentre esses estão o uso de áreas verdes urbanas. As áreas verdes são utilizadas para auxiliar no controle de alagamentos em alguns municípios brasileiros, porém, por vezes o dimensionamento, a locação e a manutenção não ocorrem da forma correta, resultando no mal funcionamento da área verde como um sistema de redução de impactos das águas (PEREIRA; LUIZ; MENEGUETTI, 2017; OLIVEIRA; BARBASSA; GONÇALVES, 2016; CARVALHO et al., 2019). Do ponto de vista hidrológico, as áreas verdes urbanas possuem duas funções principais, a interceptação direta da chuva e consequente redução do escoamento superficial, e a absorção do escoamento superficial das áreas impermeáveis.

O uso de infraestruturas verdes como sistemas de drenagem natural apresentam-se como uma alternativa bastante promissora. Essas estruturas reduzem o impacto ambiental promovendo não só a drenagem natural da água das chuvas, mas também prestam serviços ecológicos para fauna local, podem reduzir a temperatura e gerar um ambiente mais agradável aos moradores das cidades, são conhecidas como *Low Impact Development* (LID). Segundo o *United States Department of Agriculture* (Departamento de agricultura dos Estados Unidos da América), o LID é uma estratégia de gerenciamento de águas pluviais projetada para manter a hidrologia do local e mitigar os impactos adversos do escoamento de águas pluviais e da poluição de fontes não pontuais (United States Department of Agriculture [USDA], 2004). Dentro destas estruturas podem ser enquadrados pavimentos permeáveis e jardins de infiltração ou jardins de chuva.

Os jardins de infiltração são sistema de biorretenção que auxiliam no manejo de águas pluviais, trazendo benefícios ecológicos e ambientais (DIETZ; CLAUSEN, 2006; ARAVENA; DUSSAILLANT, 2009). Esses jardins são feitos a partir de uma depressão rasa realizada na terra, com árvores e/ou arbustos e cobertura do solo com gramado e/ou espaço ajardinado (Environmental Services Division - Department of Environmental Resources - The Prince George's County, 2007). Além disso, foram recomendados para a redução do escoamento de águas pluviais e retenção de contaminantes nos países do norte da Europa, Estados Unidos da América e Japão (ISHIMATSU et al., 2017). No Brasil, encontramos esses sistemas em algumas cidades, como São Paulo, Belo Horizonte e Porto Alegre. Apesar de ser uma proposta antiga, há uma falta de estudos investigativos destes sistemas, especialmente para condições de clima tropical.

Devido as características pluviométricas de regiões de clima tropical, intensas e concentradas temporalmente, há necessidade de estudos hidrológicos e até desenvolvimento de modelagens capazes de simplificar a determinação da influência de eventos de precipitação no escoamento superficial de água (MESQUITA; PEREIRA; LIMA NETO, 2020). A maioria dos municípios brasileiros ainda possui uma baixa capacidade de coleta de dados hidrológicos o que afeta diretamente a calibração e validação de modelos hidrológicos complexos (WHITE; CHAUBEY, 2007; NOLI; FERENTZ; GARCIAS, 2020; COSTA; TSUJI; KOIDE, 2021).

Nesse sentido, o desenvolvimento e uso de ferramentas computacionais é de extrema relevância para gestores públicos, tendo em vista que as tomadas de decisão quanto aos recursos hídricos devem ser multidisciplinares e de ampla abrangência (VALÉRIO FILHO et al., 2005; SOUZA; SOBREIRA, 2017; ERTHAL, PEREIRA, 2020). O planejamento urbano tem papel fundamental na redução de riscos e desastres e de acordo com a legislação brasileira o plano diretor das cidades é parte fundamental para incorporação de ações de proteção e defesa civil (REANI et al., 2020).

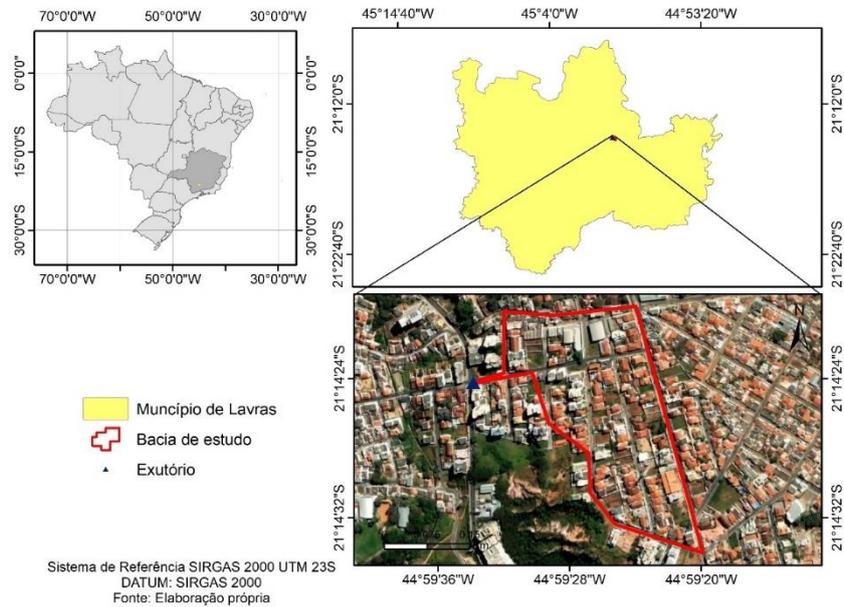
Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi demonstrar o impacto dos jardins de infiltração no escoamento superficial da água em uma bacia de escoamento na cidade de Lavras – MG, através de uma metodologia simplificada capaz de ser aplicada como ferramenta de gestão em locais com baixa disponibilidade de dados hidrológicos, devido a infiltração direta da precipitação.

## **2. METODOLOGIA**

### **2.1. Delimitação da área de estudo**

O presente estudo de caso foi realizado no bairro Olaria, na cidade de Lavras, estado de Minas Gerais (Figura 1). A cidade de Lavras está localizada na latitude 21°14'42"S e longitude 45°00'00"O e possui 919 m de altitude média. Segundo a classificação climática de Köppen, Lavras possui um clima temperado chuvoso com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, classificado como Cwa (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007). Foi delimitada uma sub-bacia de escoamento neste bairro, referente a uma encosta, baseando-se no escoamento a um determinado ponto, com base em dados observacionais. A delimitação da bacia foi feita com base no escoamento superficial que ocorre nas ruas e foi utilizado o Google Maps para sua delimitação (Figura 2). O exutório da bacia encontra-se nas coordenadas 21°14'24,3"S e 44°59'34,0"O.

Figura 1 - Localização da bacia de estudo.



Fonte: Elaboração própria.

Figura 2 - Sentido de escoamento superficial da água no leito carroçável e talvegue principal.



Fonte: Elaboração própria.

## 2.2. Elaboração do hidrograma unitário adimensional

Para estimar o efeito da presença de jardins de retenção foi calculado o Hidrograma de Projeto, baseado no Hidrograma Unitário Adimensional. Optou-se pela utilização do hidrograma

unitário adimensional devido a sua simplicidade e capacidade de síntese para áreas que não possuem dados de precipitação e escoamento superficial. Para a construção do hidrograma unitário adimensional é necessário o conhecimento da área e das classes de uso do solo da bacia hidrográfica, além de dados como o comprimento do talvegue principal e declividade média da bacia.

Através do Google Maps foi estimada a área e dividida em classes quanto ao uso do solo. Também através do Google Maps foi estimada a diferença de nível entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório, a declividade média da bacia e o comprimento do maior talvegue. O comprimento de todas as ruas foi medido, e contabilizadas as áreas de entrada de garagens, vagas para veículos oficiais do poder público (unidade básica de saúde), áreas de manobra (quadra poliesportiva) e vagas para estacionamento rápido (escola). Foram consideradas três configurações para implantação dos jardins de infiltração, ocupar apenas um lado da rua (Configuração 01), ocupar os dois lados da rua (Configuração 02) e ocupar os dois lados da rua e os passeios (Configuração 03).

Para construção do hidrograma unitário adimensional calcula-se inicialmente o tempo de pico. O tempo de pico do HUA foi estimado através da equação proposta pelo SCS-USDA (*Soil Conservation Service - United States Department of Agriculture / Serviço de conservação do Solo - Departamento de Agricultura dos Estados Unidos*), que pode ser calculado através da Equação 01 (United States Department of Agriculture [USDA], 1997; Soil Conservation Service [SCS], 1986). Esta equação se baseia no uso do solo na capacidade máxima de absorção de água na bacia (Equação 02), no comprimento do curso d'água principal e da declividade média da bacia. Sendo que a variável uso do solo é obtido através do valor da Curva-Número, representado pelo valor de CN.

$$t_p = \frac{2,6 \cdot L^{0,8} \cdot \left( \frac{S}{25,4} + 1 \right)^{0,7}}{1900 \cdot s_0^{0,5}} \cdot 60 \quad \text{Equação 01}$$

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad \text{Equação 02}$$

Onde:

$t_p$  é o tempo de pico do hidrograma em minutos;

$L$  é o comprimento do maior talvegue de escoamento em metros;

$S$  é a capacidade máxima de absorção de água em milímetros;

$s_0$  é a declividade média da bacia em porcentagem; e,

CN é o valor da curva número referente ao tipo de solo.

O tempo de concentração para esta bacia foi calculado através da equação de Kirpich (Equação 03), amplamente utilizada em bacias urbanizadas (FANG et al., 2008). Com base no tempo de concentração, foi definida a duração do evento de precipitação unitária, para o HUA, sendo adotado como o valor do próprio tempo de concentração ( $t_c = D$ ). Desta forma pode-se obter o valor do tempo de ascensão da hidrógrafa (Equação 04).

$$t_c = \frac{57 \cdot L^{1,155}}{H^{0,385}} \quad \text{Equação 03}$$

$$t_a = t_p + \frac{D}{2} = t_p + \frac{t_c}{2} \quad \text{Equação 04}$$

Onde:

$t_c$  é o tempo de concentração da bacia hidrográfica em minutos;

$L$  é o comprimento do talvegue em quilômetros;

$H$  é o desnível entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório em metros;

$D$  é a duração do evento de precipitação em minutos; e,

$t_a$  é o tempo de ascensão da hidrógrafa em minutos.

O tempo de recessão foi obtido através da Equação 05, e o tempo total de escoamento superficial direto foi estimado através da Equação 06 (COUTINHO et al., 2019). A simulação do hidrograma unitário adimensional foi realizada até o tempo total de escoamento superficial direto.

$$t_e = 1,67 \cdot t_a \quad \text{Equação 05}$$

$$t_b = t_a + t_e \quad \text{Equação 06}$$

Onde:

$t_e$  é o tempo de recessão da hidrógrafa em minutos;

$t_a$  é o tempo de ascensão da hidrógrafa em minutos; e,

$t_b$  é o tempo total de escoamento superficial direto em minutos.

Para o cálculo do hidrograma unitário adimensional foi considerada uma precipitação unitária de 1 milímetro, considerando como duração o tempo de ascensão do hidrograma. A vazão de pico do hidrograma unitário foi obtida através da Equação 07. Para a descrever a vazão ao longo do tempo foi utilizada a metodologia proposta por Beskow et al. (2018), que se utiliza da relação entre a vazão e a vazão de pico, e entre o tempo de simulação e o tempo de ascensão (Equação 08) em intervalos de tempo equivalentes a 2/3 do tempo de concentração. Desta forma a vazão pode ser obtida para cada intervalo através do produto da Equação 08 e da vazão de pico do hidrograma unitário.

$$q_p = \frac{0,208 \cdot P_u \cdot A}{t_a} \cdot \left( \frac{1000 \cdot 60}{1000^2} \right) \quad \text{Equação 07}$$

$$\frac{q}{q_p} = \left( \frac{t}{t_a} \cdot e^{1 - \frac{t}{t_a}} \right)^X \quad \text{Equação 08}$$

$$X = 0,8679 \cdot e^{0,00353 \cdot FP} - 1$$

Equação 09

Onde:

$q_p$  é a vazão de pico do hidrograma unitário em litros por segundo;

$P_u$  é a precipitação unitária em milímetros ( $P_u = 1$  mm)

$A$  é a área da bacia em metros quadrados;

$t_a$  é o tempo de ascensão da hidrógrafa em minutos;

$t$  é o intervalo de tempo da simulação em minutos;

$X$  é a função Gama do fator de pico;  $e$ ,

$FP$  é o fator de pico ( $FP = 484$ ).

### 2.3. Cálculo da precipitação de projeto

Para determinação da chuva de projeto, foi calculada a precipitação sobre a bacia através do produto da intensidade de precipitação com o tempo de duração da chuva. A chuva de projeto foi calculada em seis intervalos regulares, sendo que cada intervalo possui duração de 2/3 do tempo de concentração ( $d = 2/3 t_c$ ). A equação de chuvas intensas (Equação 10) foi baseada na curva de intensidade-duração-frequência (IDF), com dados para o município de Lavras (CAMINHA; SOUZA; OLIVEIRA, 2020), com tempo de retorno de 5 anos, adequado para obras de drenagem. A precipitação efetiva foi obtida através do método da curva-número do USDA (SCS, 1986), que leva em consideração a precipitação sobre a bacia e as características de uso de solo através da capacidade máxima de absorção de água. Para valores de precipitação inferiores a 20% da capacidade máxima de infiltração o valor de precipitação efetiva zero, e para precipitações iguais ou maiores que 20% da capacidade máxima de infiltração o valor é maior que zero (Equação 11).

$$i = \frac{C \cdot TR^m}{(t + t_o)^n} \cdot \frac{1}{60}$$

Equação 10

$$P_e = \begin{cases} P < 0,2 \cdot S & \rightarrow 0 \\ P \geq 0,2 \cdot S & \rightarrow \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \end{cases}$$

Equação 11

Onde:

$i$  é a intensidade de precipitação em milímetros por minuto;

$t$  é o tempo de duração do evento em minutos;

$TR$  é o tempo de retorno em anos ( $TR = 5$  anos);

$C$ ,  $m$ ,  $t_o$ ,  $n$  são parâmetro de ajuste da equação IDF ( $C = 975,7847$ ;  $m = 0,1776$ ;  $t_o = 10,242$ ;  $n = 0,7348$  (Caminha et al., 2020));

$S$  é a capacidade máxima de absorção de água em milímetros;

$P_e$  é a precipitação efetiva em milímetros;  $e$ ,

$P$  é a precipitação em milímetros.

A chuva de projeto teve duração equivalente ao dobro do tempo de concentração, devido ao baixo tempo de concentração. Os valores de precipitação efetiva obtidos são referentes a todo o tempo de simulação, por isso, por diferença entre valores consecutivos obteve-se a precipitação efetiva de cada intervalo de tempo. Os dados de precipitação efetiva de cada intervalo foram redistribuídos de acordo com metodologia do *Bureau of Reclamation* (COUTINHO et al., 2019), para que a vazão de pico fosse maximizada, aumentando a segurança do hidrograma de projeto.

#### **2.4. Elaboração do hidrograma de projeto**

De posse dos dados de precipitação efetiva reorganizados e dos valores de vazão do hidrograma unitário adimensional, foi calculado o hidrograma de projeto. Para o cálculo do hidrograma de projeto foi utilizada a equação de convolução matricial na forma matricial descrita por Mello, Silva e Beskow (2020). Para todas as simulações foram considerados 21 dados de vazão do hidrograma unitário adimensional e 6 dados de precipitação efetiva de projeto, resultando em um hidrograma de projeto com 26 pontos.

Calculou-se também para comparar os resultados hidrológicos da implementação dos jardins de infiltração e suas diferentes configurações a vazão de pico do hidrograma de projeto e o volume total escoado relativo à chuva de projeto. Para calcular o volume escoado foi utilizada a integração numérica pelo método dos retângulos.

### **3. RESULTADOS**

#### **3.1. Alterações da superfície de escoamento**

Na área estudada foram encontradas duas classes de solo que englobam a bacia, e desta forma, optou-se por dividi-la em áreas de caixa de via e áreas de terrenos residenciais e vazios. As áreas de caixa da via são compostas pelo leito carroçável (rua) e o passeio, e apresentam pouca permeabilidade, sendo que a área de terrenos residenciais e vazios é a subtração da área de caixa da via da área total da bacia. As áreas de terrenos residenciais e vazios apresentam maior permeabilidade do solo, sendo compostas basicamente por residências com ou sem pátios, terrenos vazios (baldios) e, neste bairro, uma escola, uma quadra poliesportiva e uma unidade básica de saúde.

Para além destas duas classes de uso de solo, determinou-se uma terceira, que será composta pelos jardins de infiltração, que serão projetados para serem inseridos no leito carroçável, ocupando as vagas de estacionamento, o que pode ser denominado de vagas verdes. A vegetação do jardim de infiltração pode ser diversa, podendo ser utilizadas plantas de pequeno ou grande porte, conforme capacidade e adaptabilidade do local. Ressalta-se que neste estudo, a área de jardim de infiltração simulada apresenta alta capacidade de infiltração, gerada pela eliminação de camadas impermeáveis e pela característica de solos profundos.

A Tabela 1 apresenta os dados de áreas de cada classe de uso de solo, bem como os valores de CN para os respectivos usos, considerando a condição original, sem jardim de chuva, e as três configurações de instalação dos jardins de chuva.

Tabela 1 - Classes de uso de solo, áreas respectivas e valores de CN

Classe de uso de solo	Área (A, m <sup>2</sup> )	Porcentagem da área total	Valores CN*
<b>Sem Jardim de Infiltração</b>			
Caixa de Via	14465,70	18,66	83,00
Terrenos residenciais e vazios	63069,30	81,34	77,00
Jardim de infiltração	0,00	0,00	--
Área total	77535,00	100,00	78,12 <sup>a</sup>
<b>Configuração 01 - Apenas um lado da rua</b>			
Caixa de Via	13561,70	17,49	83,00
Terrenos residenciais e vazios	63069,30	81,34	77,00
Jardim de infiltração	904,00	1,17 <sup>b</sup> / 6,25 <sup>c</sup>	39,00
Área total	77535,00	100,00	77,61 <sup>a</sup>
<b>Configuração 02 - Dois lados da rua</b>			
Caixa de Via	12669,10	16,34	83,00
Terrenos residenciais e vazios	63069,30	81,34	77,00
Jardim de infiltração	1796,60	2,32 <sup>b</sup> / 13,25 <sup>c</sup>	39,00
Área total	77535,00	100,00	77,10 <sup>a</sup>
<b>Configuração 03 - Dois lados da rua e passeio</b>			
Caixa de Via	9075,90	11,71	83,00
Terrenos residenciais e vazios	63069,30	81,34	77,00
Jardim de infiltração	5389,80	6,95 <sup>b</sup> / 42,54 <sup>c</sup>	39,00
Área total	77535,00	100,00	75,06 <sup>a</sup>

\*Valores de CN extraídos de Mello et al. (2020). a - Valor ponderado de CN para a área total em função das áreas de cada uso de solo; b - Porcentagem da área de jardim em relação a área total; e, c - Porcentagem da área de jardim de infiltração em relação a área original da caixa da via. Fonte: Elaboração própria.

Os terrenos residenciais e vazios ocupam aproximadamente 81% da área estudada, sendo que em sua condição original o restante é ocupado por áreas de caixa de via. A área de caixa de via reduz de acordo com a inserção de jardins de infiltração, sendo que estes podem ocupar até 6,95% da área total na configuração 03. Nesta mesma configuração, aproximadamente 42% das áreas antes ocupadas por vias, estariam ocupadas por jardins de infiltração (Tabela 1).

Foram considerados que os solos da bacia eram homogêneos do grupo hidrológico A (altamente permeáveis) e que estavam em situação II (CNII), ou seja, solos com umidade intermediária (SARTORI; LOMBARDI NETO; GENOVEZ, 2005; MELLO et al., 2020). Para o uso de solo de caixa de via foi considerado a classe de ruas e estradas - pavimentadas e canais coletores abertos, para o uso de solo de terrenos residenciais e vazios foi considerada áreas residenciais - lotes urbanos, e para os jardins de infiltração foi considerado espaços abertos - cobertura com grama maior que 75% (KRAJEWSKI et al., 2020; MELLO et al., 2020).

Os valores de CN variam de 0 a 100, sendo que pode ser inferido que quanto maior seu valor, mais impermeável é o solo, e quanto menor o valor, mais permeável é o solo. Desta forma, observa-se que para áreas muito impermeabilizadas, como a caixa de via, o valor de CN é maior e para as áreas dos jardins de infiltração esse valor é menor. Os valores de CN ponderado em relação a área reduzem com o aumento da área ocupada pelos jardins de infiltração.

Em bacias hidrográficas urbanizadas o valor de CN tende a subir, como demonstrado em estudo realizado por Targa et al. (2012), avaliando a urbanização da bacia hidrográfica do Igarapé

Tucunduba no Pará. O valor ponderado de CN para uma determinada bacia sobe de acordo com o aumento de urbanização da bacia (SHI et al., 2007; SJÖMAN, GILL, 2014; ANSCHAU et al., 2018). De acordo com Parra e Teixeira (2020) as áreas impermeabilizadas destinadas a circulação de pedestres e veículos ocupa em torno de 20% das áreas urbanas, sendo uma das grandes responsáveis pelos eventos de enchentes. Neste estudo de caso, na condição original, as caixas de via ocupam em torno de 18% da área do bairro, e possuem o maior valor de CN (Tabela 1).

Além da área e do uso de solo, são necessárias outras duas características morfológicas da bacia, o comprimento do maior talvegue de escoamento e a declividade média da bacia. O comprimento do maior talvegue mensurado foi de 648 m, ao passo que a declividade média da bacia foi considerada como 7,7%, sendo o desnível entre o ponto mais alto do talvegue e o exutório de 50 m.

### 3.2. Hidrograma de projeto

Os valores de tempo de concentração, precipitação efetiva, vazão de pico do hidrograma de projeto e volume escoado do hidrograma de projeto estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tempo de pico e tempo de duração do escoamento do hidrograma unitário adimensional, precipitação efetiva, vazão de pico do hidrograma de projeto e volume escoado do hidrograma de projeto

Sem Jardim de Infiltração			
Tempo de pico do hidrograma unitário adimensional	$t_p$ (min)	13,38	--
Tempo de duração do escoamento do HUA**	$t_b$ (min)	45,94	--
Precipitação efetiva	$P_e$ (mm)	3,08	--
Vazão de pico do hidrograma de projeto	$Q_p$ (l s <sup>-1</sup> )	165,70	--
Volume escoado do hidrograma de projeto	Vol (l)	3882,92	--
Configuração 01 - Apenas um lado da rua			
Tempo de pico do hidrograma unitário adimensional	$t_p$ (min)	13,58	+1,55*
Tempo de duração do escoamento do HUA**	$t_b$ (min)	46,49	+1,21*
Precipitação efetiva	$P_e$ (mm)	2,86	-7,00*
Vazão de pico do hidrograma de projeto	$Q_p$ (l s <sup>-1</sup> )	152,51	-7,96*
Volume escoado do hidrograma de projeto	Vol (l)	3608,12	-7,08*
Configuração 02 - Dois lados da rua			
Tempo de pico do hidrograma unitário adimensional	$t_p$ (min)	13,79	+3,10*
Tempo de duração do escoamento do HUA**	$t_b$ (min)	47,04	+2,41*
Precipitação efetiva	$P_e$ (mm)	2,66	-13,60*
Vazão de pico do hidrograma de projeto	$Q_p$ (l s <sup>-1</sup> )	140,20	-15,39*
Volume escoado do hidrograma de projeto	Vol (l)	3348,87	-13,75*
Configuração 03 - Dois lados da rua e passeio			
Tempo de pico do hidrograma unitário adimensional	$t_p$ (min)	14,64	+9,42*
Tempo de duração do escoamento do HUA**	$t_b$ (min)	49,30	+7,32*
Precipitação efetiva	$P_e$ (mm)	1,93	-37,28*
Vazão de pico do hidrograma de projeto	$Q_p$ (l s <sup>-1</sup> )	97,69	-41,04*
Volume escoado do hidrograma de projeto	Vol (l)	2420,29	-37,67*

\* Percentagem de aumento (+) ou redução (-) da variável em relação a condição original (sem jardim de infiltração). \*\* HUA - Hidrograma Unitário Adimensional. FONTE: Elaboração própria.

O tempo de pico aumentou com a presença do jardim de infiltração. O aumento de áreas com jardins de infiltração também aumenta o tempo de pico, indicando que não somente a presença, mas sim a área do jardim influencia o tempo de pico. Esse aumento do tempo de pico está diretamente ligado ao aumento da capacidade máxima de absorção de água, que por sua vez é inversamente proporcional ao valor de CN. Na prática, quanto menor o valor de CN, maior é a capacidade máxima de infiltração, e por consequência maior o tempo de pico.

O tempo de pico representa a diferença de tempo entre o início da precipitação e a vazão de pico do hidrograma (United States Department of Agriculture [USDA], 2010). O aumento das áreas de infiltração, ocasionado pela presença dos jardins, em 1,17%, 2,32% e 6,95%, aumentou em 1,55%, 3,10% e 9,42% o tempo de pico da bacia, respectivamente. Esse fato dá-se principalmente pelo impacto do jardim sobre a área da caixa de via, que é a área com maior impermeabilização. O tempo de duração do escoamento apresenta comportamento semelhante ao tempo de concentração, aumentando com a presença e aumento da área dos jardins de chuva, e por apresentar dependência direta do tempo de concentração, suas porcentagens de alteração são na mesma ordem. Regiões projetadas para terem maior área de infiltração apresentaram tempos de pico e duração do escoamento maiores em comparação a áreas residenciais tradicionais (HOOD; CLAUSEN; WARGEN, 2007; BENINI; MENDIONDO, 2015).

A precipitação efetiva reduziu com a presença, e com o aumento da área, de jardins de infiltração. Esse fato também está ligado a alteração do uso do solo, e por consequência da redução do valor de CN. O conceito de precipitação efetiva, no caso de geração de escoamento superficial, está relacionado a parcela da precipitação que gera o escoamento superficial. Neste sentido, quanto menor o valor de precipitação efetiva, menor será a geração de escoamento superficial, na ordem de 50% (HUNT, 2006; JANUR; RIZZI, 2011; WINSTON; DORSEY; HUNT, 2016).

Assim como a precipitação efetiva, a vazão de pico do hidrograma de projeto reduziu com a presença, e com o aumento da área, de jardins de infiltração. Porém essa variável é duplamente afetada pela alteração do terreno, já que a vazão de pico apresenta dependência da precipitação efetiva e do tempo de pico. A redução do valor de CN, ocasionada pela alteração do uso do solo, causa redução da precipitação efetiva e aumento do tempo de pico, que resultam em conjunto na redução da vazão de pico. Vale ressaltar que o tempo de pico apresenta relação inversa a vazão de pico.

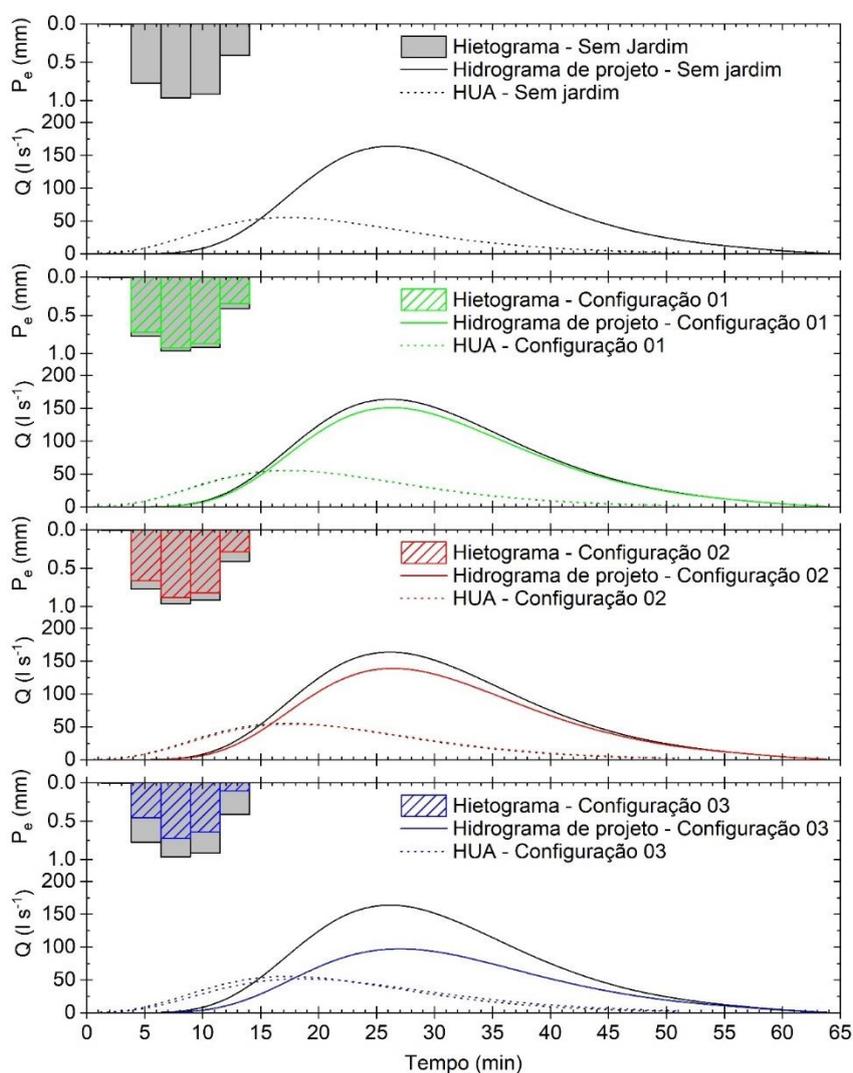
A vazão de pico do hidrograma de projeto representa a maior vazão instantânea que irá passar no exutório da bacia. O aumento da área permeável, ou sua presença, em caixas de via é capaz de reduzir a vazão de pico, devido a capacidade de infiltrar e evapotranspirar a água (TIRPAK et al., 2021). Estudando uma bacia que possui 57% da área impermeabilizada, Mesquita e Lima Neto (2020), identificaram que um aumento de 20% das áreas de infiltração resultou em uma redução de 12% na vazão de pico.

Considerando que o escoamento na bacia de estudo ocorre superficialmente e é conduzido pelo sistema viário, podemos considerar que o canal de escoamento é o próprio leito carroçável. Neste sentido, a vazão está diretamente associada a profundidade da água no leito carroçável, sendo que quanto maior a vazão, maior será a profundidade. Esse fato contribui para alagamentos momentâneos e de curta duração, sendo que o aumento destes eventos está diretamente ligado sua impermeabilização. Bacias que já estão além do ponto crítico de impermeabilização, apresentam

pouca alteração na vazão de pico com o aumento de áreas impermeabilizadas, mas, e esse aumento reflete em inundações mais intensas e frequentes (MESQUITA; LIMA NETO, 2020).

O volume total escoado apresentou comportamento semelhante a precipitação efetiva, ou seja, reduziu com a presença e aumento da área de jardins de infiltração. Este comportamento é esperado uma vez que o volume escoado é função da precipitação efetiva. O volume escoado é obtido através da integração da vazão em função do tempo do hidrograma de projeto. O hidrograma de projeto para a condição original e as três configurações de jardins de infiltração estão apresentados junto ao hietograma da chuva de projeto na Figura 3.

Figura 3 - Hietograma da chuva de projeto, hidrograma unitário e de projeto para condição original (sem jardim) e as três configurações de jardim de infiltração



Fonte: Elaboração própria.

O aumento das áreas de infiltração, referentes aos jardins de chuva, causam a redução da vazão de pico e o aumento do tempo de duração do escoamento superficial, além de retardar o momento da vazão de pico em relação ao evento de precipitação. Pode ser observado que, para além

de variações no hidrograma de projeto, há variações no hietograma da chuva de projeto, observando uma redução da precipitação efetiva (Figura 3).

A redução da magnitude da vazão, aumento do tempo de duração e retardo pico de vazão do hidrograma de projeto é um dos objetivos buscados com o aumento de áreas permeáveis em locais propícios a enxurradas e alagamentos. A utilização de jardins de infiltração é uma opção a estas ferramentas, tendo em vista que trazem benefícios para além dos períodos críticos quanto a precipitação.

O jardim de infiltração mostra-se como uma excelente alternativa no manejo das águas pluviais urbanas, comprovado pelo seu desempenho hidrológico. Através da metodologia utilizada foi possível prever a redução na precipitação efetiva e por consequência na vazão escoada, que pode ser traduzido como redução da profundidade da água sobre o calçamento da via. A metodologia proposta considera que os efeitos hidrológicos estão ligados apenas ao aumento da área permeável, e consequente redução da precipitação efetiva que cai sobre a área do jardim de infiltração. Além do aumento de área permeável, estas estruturas podem absorver o escoamento superficial gerado pelas áreas próximas aos jardins.

Por fim, para além das respostas hidrológicas, vale ressaltar que os jardins de infiltração como estrutura verde nas cidades, podem embelezar as ruas, deixando os espaços mais agradáveis. Existem diferentes modelos de jardins de infração, alguns podem ser projetados com a presença de árvores, além do gramado e flores, prestando um serviço ecológico para pequenos animais e pássaros.

#### **4. CONCLUSÃO**

A metodologia utilizada consegue demonstrar o impacto dos jardins de chuva no escoamento superficial da água em uma bacia de escoamento, de forma simplificada e possível de ser aplicada como ferramenta de gestão em locais com baixa disponibilidade de dados hidrológicos.

A presença de jardins de infiltração aumenta o tempo de pico e a duração do escoamento, e reduz a precipitação efetiva, vazão de pico e volume escoado em uma bacia após um evento de precipitação, que culminam na amortização do hidrograma. Além da presença, o aumento da área dos jardins de infiltração, aumentam a magnitude das respostas supracitadas.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de pesquisa. Os autores agradecem também aos pareceristas pelas contribuições.

#### **6. REFERÊNCIAS**

ANSCHAU, Ângelo Rohr; RECZIEGEL, Tatiana; SILVEIRA, Franco; MACHADO, Filipe Molinar; AMARAL, Fernando Gonçalves. Avaliação da expansão urbana e seu impacto na dinâmica de escoamento superficial da Bacia Hidrográfica do Arroio Itaquarinchim de Santo Ângelo – RS. *ENGEVISTA*, v. 20, n. 5, p. 772-791, 2018.

ALVES FERREIRA NETO, José; OLIVEIRA, Helaine Cristina; OLIVEIRA, Nayara Kelly; CUNHA, Amanda da Silva. Inundações urbanas e as técnicas de redução de escoamento superficial de águas pluviais. **Revista Engenharia De Interesse Social**, v. 1, n. 4, 2019.

ARAVENA, Jazmín E., & DUSSAILLANT, Alejandro. Storm-Water Infiltration and Focused Recharge Modeling with Finite-Volume Two-Dimensional Richards Equation: Application to an Experimental Rain Garden. **Journal of Hydraulic Engineering**, v. 135, n. 12, p. 1073-1080, 2009.

BATTERMARCO, Bruna Peres.; YAMAMOTO, Lilian.; VERÓL, Aline Pires.; RÊGO Andréa.; VASCONCELLOS, Virgínia; MIGUEZ, Marcelo Gomes. Sistemas de espaços livres e drenagem urbana: um exemplo de integração entre o manejo sustentável de águas pluviais e o planejamento urbano. **Paisagem e Ambiente**, n. 42, p. 55-74, 2018.

BENINI, Rubens de Miranda.; MEDIONDO, Eduardo Mario. Urbanização e Impactos no Ciclo Hidrológico na Bacia do Mineirinho. **Floresta e Ambiente**, v. 22, n. 2, p. 211-222, 2015.

BESKOW, Samuel, NUNES, Gabriela S., MELLO, Carlos R., CALDEIRA, Tamara L., NORTON, Lloyd D., STEINMETZ, Alice. A., VARGAS, Marcelle F., & ÁVILA, Léo F. Geomorphology-based unit hydrograph models for flood risk management: case study in Brazilian watersheds with contrasting physiographic characteristics. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2, p. 1873-1890, 2018.

CAMINHA, Alice R., SOUZA, Gabriela R. de, & OLIVEIRA, Luiz Fernando C. Desempenho do método de desagregação de chuvas para determinação das relações intensidade-duração-frequência das precipitações em algumas localidades de Minas Gerais. **Sustentare**, v. 4, n. 2, p. 1-14, 2020

CARVALHO, Victória F. R., BATTERMARCO, Bruna P., RÊGO, Andrea Q., & VERÓL, Aline P. Sistema de parques em Vargem Grande. **Periódico Técnico e Científico Cidades Verdes**, v. 7, n. 15, p. 29-44, 2019.

CORSI, Alessandra C., AZEVEDO, Paulo B. M. DE, & GRAMANI, Marcelo F. Valoração de Danos Decorrente da Inundação em São Luiz do Paraitinga. **Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 1, n. 2, p. 124-142, 2012.

COSTA, Maria E. L., TSUJI, Thays M., & KOIDE, Sergio. Hydrological and hydraulic modeling using SWMM - Storm Water Management Model in the urban basin of Riacho Fundo I - Distrito Federal. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 1, e6010111458, 2021.

COUTINHO, Artur P., ALCÂNTARA, Lucas R. P de, COSTA, Ialy R. de A., BARROS, Vitor H. de O., COSTA, Larissa F., RIBAS, Larissa V. da S., ALVES, Edevaldo M., & ANTONINO, Antonio C. D. O efeito do método de desagregação de chuva no hidrograma de projeto para uma bacia hidrográfica rural no semiárido nordestino. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 4, n. 2, p. 146-156, 2019.

DANTAS, Antonio A. A., CARVALHO, Luiz G. de, & FERREIRA, Elizabeth. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, 2007.

DIETZ, Michael E., & CLAUSEN, John C. Saturation to Improve Pollutant Retention in a Rain Garden. **Environmental Science & Technology**, v. 40, n. 4, p. 1335-1340, 2006.

DOUGLAS, Ian. The challenge of urban poverty for the use of green infrastructure on floodplains and wetlands to reduce flood impacts in intertropical Africa. **Landscape and Urban Planning**, v. 180, n. 1, p. 262-272, 2018.

ENVIRONMENTAL SERVICES DIVISION - Department of Environmental Resources - The Prince George's County. **Bioretention Manual**. 2007.

ERTHAL, Ludmila P., & PEREIRA, Denise de A. As águas do Rio Grande e a prevenção de riscos: o SIG na análise de cenários prospectivos de uso do solo urbano em Bom Jardim, RJ. **Paisagem e Ambiente**, v. 31, n. 46, e162990, 2020.

FANG, Xing, THOMPSON, David B., CLEVELAND, Theodore G., PRADHAN, Pratistha, & MALLA, Ranjit Time of concentration estimated using watershed parameters determined by automated and manual methods. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 134, n. 2, p. 202-211, 2008.

HOOD, Mark J., CLAUSEN, John C., & WARNER, Glenn S. Comparison of stormwater lag times for low impact and traditional residential development. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 43, p. 1036-1046, 2007.

HUNT, William F., JARRETT, Albert R., SMITH, J. T., & SHARKEY, Lucas J. Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 132, n. 6, p. 600-608, 2006.

ISHIMATSU, Kazuma, ITO, Kiyomi, MITANI, Yoshitsugu, TANAKA, Yoshiya, SUGAHARA, Takeshi, & NAKA, Yoshifumi. Use of rain gardens for stormwater management in urban design and planning. **Landscape and Ecological Engineering**, v. 13, p. 205-212, 2016.

JABUR, Andrea S., & RIZZI, Nivaldo E. Estimativas da vazão máxima e capacidade de saturação hídrica da Bacia Hidrográfica do Alto do Rio Ligeiro em Pato Branco, PR. **Revista Floresta**, v. 41, n. 4, p. 833-846, 2011.

LI, Liu, & BERGEN, Jensen M. Green infrastructure for sustainable urban water management: Practices of five forerunner cities. **Cities**, v. 74, n. 1, p. 126-133, 2018.

LI, Feng, LIU, Xusheng, ZHANG, Xiaoling, ZHAO, Dan, LIU, Hongxiao, ZHOU, Chuanbin, & WANG, Rusong. Urban ecological infrastructure: an integrated network for ecosystem services and sustainable urban systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 163, n. 1, p. S12-S18, 2017.

KRAJEWSKI, Adam, SIKORSKA-SENONER, Anna E., HEJDUK, Agnieszka, & HEJDUK, Leszek Variability of the initial abstraction ratio in an urban and an agroforested catchment. **Water**, v. 12, n. 2, p. 415, 2020.

MELLO, Carlos R. de, SILVA, Antonio M. da, & BESKOW, Samuel. **Hidrologia de superfície: Princípios e Aplicações**. Editora da Universidade Federal de Lavras. 2020.

MESQUITA, Janine B. de F.; & LIMA NETO, Iran E. (2020) Impacto da impermeabilização na hidrologia de uma bacia urbana. Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas. 2020. Disponível em: [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/55064/1/2020\\_eve\\_jbfmesquita.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/55064/1/2020_eve_jbfmesquita.pdf). Acesso em: 17 agosto. 2022.

MESQUITA, Janine B. D., PEREIRA, Silvano P., & LIMA NETO, Iran E. Modelagem da drenagem urbana e avaliação das cargas bacteriológicas na Vertente Marítima de Fortaleza, Ceará. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 1, p. 205-216, 2020.

NOLI, Murilo, FERENTZ, Larissa, & GARCIAS, Carlos M. Disponibilidade de dados abertos para a resiliência às inundações em Curitiba (Paraná). *Revista De Morfologia Urbana*, v. 8, n. 2, e00139, 2020.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **Urban hydrology for small watersheds** - Technical Release 55. U.S. Department of Agriculture - Soil Conservation Service (SCS). 1986. Disponível em: [https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE\\_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf](https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044171.pdf). Acesso em: 17 agosto. 2022.

OLIVEIRA, Alinne P. de, BARBASSA, Ademir P., & GONÇALVES, Luciana. M. Aplicação de técnicas compensatórias de drenagem na requalificação de áreas verdes urbanas em Guarulhos - SP. **Cidades Verdes**, v. 4, n. 9, p. 87-101, 2016.

O'NEILL, Sara J., & CAIRNS, Stephanie. **New Solutions for Sustainable Stormwater Management in Canada (Report)**. Sustainable Prosperity. 2016. Disponível em: <https://institute.smartprosperity.ca/sites/default/files/stormwaterreport.pdf>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

PARRA, Geovana G., & TEIXEIRA, Bernardo A. N. Análise de cenários resultantes da impermeabilização de espaços destinados à circulação e permanência de pedestres. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 12, e20190265, 2020.

PEREIRA, Talita R. T., LUIZ, Fellipe S., & MENEGUETTI, Karin S. De entrave à potencialidade: Análise e diretrizes ecológicas para o Parque do Povo e do Córrego do Veado em Presidente Prudente - SP. **Periódico Eletrônico "Fórum Ambiental da Alta Paulista"**, v. 13, n. 7, p. 27-41, 2017.

REANI, Regina T., SORIANO, Érico, LONDE, Luciana R., TOMÁS, Livia, VIANNA, Maria L. N. G., & SANTOS, Leonardo B. L. Interfaces legais entre planejamento urbano e redução de riscos e desastres. **Caminhos de Geografia**, v. 21, n. 76, p. 116-133, 2020.

SARTORI, Anderson, LOMBARDI NETO, Francisco, GENOVEZ, Abel M. Classificação Hidrológica de Solos Brasileiros para a Estimativa da Chuva Excedente com o Método do Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos Parte 1: Classificação. **RBRH - Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 10, n. 4, p. 05-18, 2005.

SHI, Pei-Jun, YUAN, Yi, ZHENG, Jing, WANG, Jing-Ai, GE, Yi, & QIU, Guo-Yu. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. **Catena**, v. 69, n. 1, p. 31-35, 2007.

SJÖMAN, Johana D., & GILL, Susannah E. Residential runoff – The role of spatial density and surface cover, with a case study in the Højeå river catchment, southern Sweden. **Urban Forestry & Urban Greening**, v. 13, n. 2, p. 304-314, 2014.

SOUZA, Leonardo A. de, & SOBREIRA, Frederico G. Bacia hidrográfica do Ribeirão do Carmo: Atributos morfométricos, equação de chuva intensa e tempo de concentração, e análise de suscetibilidade a inundação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 69, n. 7, p. 1355-1370, 2017.

TARGA, Marcelo dos S., BATISTA, Getulio T., DINIZ, Hélio N., DIAS, Nelson W., & MATOS, Fernando C. de. Urbanização e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé Tucunduba, Belém, PA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 2, p. 120-142, 2012.

THORNE, Colin R., LAWSON, Emily C., OZAWA, Connie, HAMLIN, Samantha L., & SMITH, Leonard A. Overcoming uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management. **Journal of Flood Risk Management**, v. 11, n. 1, p. S960-S972, 2018.

TIRPAK, R. Andrew, WINSTON, Ryan J., FELICIANO, Melissa, DORSEY, Jay D., & EPPS, Thomas H. Impacts of permeable interlocking concrete pavement on the runoff hydrograph: Volume reduction, peak flow mitigation, and extension of lag times. **Hydrological Processes**, v. 35, p. 14167, 2021.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Ponds - planning design and construction**. U.S. Department of Agriculture. Natural Resource Conservation Service, 1997. Disponível em: <https://nrcspad.sc.egov.usda.gov/distributioncenter/pdf.aspx?productID=115>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Engineering Handbook Hydrology** - Chapter 10: Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall, 2004. Disponível em: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=17752.wba>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **National Engineering Handbook Hydrology** - Chapter 15: Time of concentration, 2010. Disponível em: <https://directives.sc.egov.usda.gov/OpenNonWebContent.aspx?content=27002.wba>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

VALÉRIO FILHO, Mário, KURKDJIAN, Maria de L. N. de O., PEREIRA, Madalena N., & ALVES, Marcello Geotecnologias aplicadas ao estudo de bacias hidrográficas urbanizadas como subsídios ao plano diretor de drenagem. **Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 3919-3926, 2005. Disponível em: <http://marte.sid.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2004/11.19.19.15/doc/3919.pdf>. Acesso em: 17 agosto. 2022.

WHITE, Kati L., & CHAUBEY, Indrajeet Sensitivity analysis, calibration, and validations for a multisite and multivariable swat model. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 41, n. 5, p. 1077-1089, 2007.

WINSTON, Ryan J., DORSEY, Jay D., & HUNT, William F. Quantifying volume reduction and peak flow mitigation for three bioretention cells in clay soils in northeast Ohio. **Science of The Total Environment**, v. 553, p. 83-95, 2016.