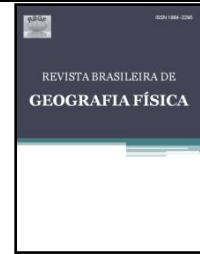




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise do impacto do crescimento urbano em uma micro bacia hidrográfica no município de Itajubá/MG

Camila Coelho Welerson¹, Benedito Cláudio da Silva²

¹ Aluna do programa de mestrado em Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. camila.welerson@gmail.com (autora correspondente). ² Professor Dr. Adjunto, Instituto de Recursos Naturais, Universidade Federal de Itajubá, Av. BPS, 1303, Pinheirinho, CEP 37500-903, Itajubá, Minas Gerais. silvabenedito@unifei.edu.br.
Artigo recebido em 15/11/2018 e aceito em 25/05/2019

RESUMO

Um dos grandes problemas enfrentados pelos gestores municipais são as inundações urbanas, resultantes de fenômenos hidrológicos extremos somados à falta de planejamento (ou má execução) do sistema de drenagem. Dentre os diversos fatores relacionados à ocorrência de inundações, um dos mais preocupantes é o uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas sem um planejamento prévio, que advém do crescimento da população urbana. De modo a mitigar este problema, dentre as medidas estruturais usuais de controle do escoamento superficial destaca-se o reservatório de retenção pela sua efetividade no amortecimento de ondas de cheia. Dessa forma, buscou-se avaliar o impacto do crescimento urbano em uma microbacia urbana do município de Itajubá, Minas Gerais, na geração de vazões de cheia. Para tanto, foram simuladas as respostas da bacia para três cenários de uso e ocupação do solo utilizando-se o software HEC-HMS e, por fim, foi dimensionado um reservatório a jusante da bacia de forma a atenuar as vazões de cheia. Os resultados das simulações apontaram para uma influência significativa do crescimento urbano nos hidrogramas de cheia, uma vez que quanto maior a impermeabilização do solo, maiores os valores do escoamento superficial. Além disso, o reservatório para a condição mais crítica de ocupação do solo apresentou os maiores valores de dimensionamento, o que significa maiores gastos financeiros para sua execução. Isso, portanto, justifica a necessidade de um planejamento prévio de ocupação por parte da gestão municipal a fim de se evitar futuros gastos extras com medidas mitigadoras de inundação. Palavras-chave: simulação hidrológica, HEC-HMS, hidrogramas de cheia.

Analysis of the impact of urban growth on a micro watershed in the Itajubá/MG county

ABSTRACT

One of the major problems faced by municipal managers is urban flooding, resulting from extreme hydrological phenomena coupled with the lack of planning (or poor execution) of the drainage system. Among the several factors related to the occurrence of floods, one of the most worrying is the use and occupation of the soil of the river basins without prior planning, which comes from the growth of the urban population. In order to mitigate this problem, among the usual structural measures of control of the surface runoff stands out the retention reservoir for its effectiveness in flood damping. In this way, we tried to evaluate the impact of urban growth in a micro urban basin of the municipality of Itajubá, Minas Gerais, in the generation of flood flows. In order to do so, the basin responses were simulated for three scenarios of land use and occupation using the HEC-HMS software, and finally, a reservoir was designed downstream of the basin in order to attenuate flood flows. The results of the simulations pointed to a significant influence of urban growth on flood hydrographs, since the higher the waterproofing of the soil, the greater the surface runoff values. In addition, the reservoir for the most critical condition of soil occupation had the highest values of design, which means higher financial expenses for its execution. This, therefore, justifies the necessity of a previous planning of occupation by the municipal management in order to avoid future extra expenses with measures that mitigates flood.

Keywords: hydrological simulation, HEC-HMS, flood hydrographs.

Introdução

As inundações são caracterizadas pelo transbordamento das águas dos cursos d'água para além de seu leito natural (D'ávila, 2018), fenômeno esse que tem se tornado cada vez mais frequente no mundo, sendo o Brasil um dos países mais afetados

(Minervino e Duarte, 2016; Chaves et al., 2017; Souza et al., 2017). O aumento da frequência e da intensidade desse evento pode estar associado às atividades antrópicas como a urbanização desordenada (Tasca et al., 2017; Sousa e

Gonçalves, 2018), a ocupação de áreas de proteção das várzeas dos rios (Rezende e Araújo, 2016; Lorena et al., 2018) e as alterações na cobertura do solo que aumentam a sua impermeabilização (Aragão et al., 2017; Wu et al., 2018).

Segundo Magnano et al. (2015), as inundações podem ser classificadas como graduais ou bruscas. A primeira possui uma sazonalidade e ocorre lentamente, sendo associada à grandes rios, e pode ser intensificada por variações do clima, por alterações no relevo e por interferência antrópica. Já a segunda está relacionada às inundações que ocorrem em um curto intervalo de tempo, causadas por chuvas intensas concentradas, atingindo áreas suscetíveis e causando prejuízos ao meio ambiente e à população.

Particularmente em Itajubá, localizada na região sul do Estado de Minas Gerais, as inundações que acometem o município podem ser classificadas como bruscas, uma vez que são de natureza súbita e com elevação acentuada dos caudais. Esse fenômeno vem acontecendo na região desde 1821, quando a população começou a ocupar as calhas secundárias do Rio Sapucaí e dos ribeirões José Pereira e Anhumas (Barbosa et al., 2015). Ou seja, há indícios de uma relação direta entre os eventos críticos de inundação e a ocupação sem planejamento dos espaços urbanos de Itajubá. Somado a isso, há a questão da região do sul de Minas ser suscetível a eventos extremos de chuvas nos períodos entre a primavera e o outono (Reboita et al., 2017), o que aumenta a probabilidade de ocorrência de inundações neste período.

Laouacheria e Mansouri (2015) afirmaram que, embora os fatores climáticos influenciem a longo prazo no regime de escoamento, a urbanização é o fator que mais provoca mudanças no uso e cobertura do solo a curto prazo, aumentando sua impermeabilização e, por isso, tem influência direta nas alterações da vazão. Isso se deve também ao fato de que o aumento da impermeabilização está relacionado diretamente com a diminuição da evapotranspiração e da infiltração, e toda a água precipitada se converte significativamente em escoamento superficial (Koneti et al., 2018). Com base nessas afirmativas, alguns estudos buscaram avaliar essa relação entre o crescimento populacional dos centros urbanos e o aumento da frequência e intensidade das inundações. Sardinha e Godoy (2016) analisaram essa questão para a cidade de Uberaba, no estado de Minas Gerais, e concluíram que o crescimento urbano desordenado é um dos principais fatores que causam impacto nos recursos hídricos da

região devido a ocupação e ao uso inadequado do solo.

Outros autores partiram para a análise quantitativa desse impacto, utilizando o software HEC-HMS para simulação do escoamento superficial. Os resultados de Gao et al. (2017) demonstraram que um aumento da impermeabilização do solo na ordem de 30 a 50% na bacia do rio Qinhuai, na China, produziu um aumento de cerca de 2 a 7% na vazão de pico, provando a relação direta entre as duas variáveis. Kang et al. (2018) verificaram um aumento de 22% nos picos de vazão causado pelo avanço da urbanização na bacia de Great Calumet, nos Estados Unidos, entre os anos de 1992 e 2001. Já Du et al. (2015) encontraram valores ainda mais significativos, concluindo que a expansão urbana nos últimos 30 anos na Bacia de Longhua, na China, gerou aumentos de 140 a 162% da vazão de pico. Em relação ao uso do software HEC-HMS, todos os autores concluíram que esse produziu resultados satisfatórios na simulação do escoamento superficial para os estudos de caso analisados.

Partindo dessas premissas, o objetivo central deste estudo é a análise do impacto do crescimento populacional em uma micro bacia urbana na cidade de Itajubá, Minas Gerais, na geração de vazões de cheia, propondo, para tanto, três condições de uso e ocupação do solo. Para as simulações das vazões fez-se o uso do *software* HEC-HMS 4.2.1. Procurou-se, portanto, avaliar a influência da ação antrópica no aumento dos valores de escoamento superficial (e consequentemente na geração de picos de vazão mais acentuados), e também alertar os gestores municipais para a questão da ocupação desordenada dos espaços urbanos.

Material e métodos

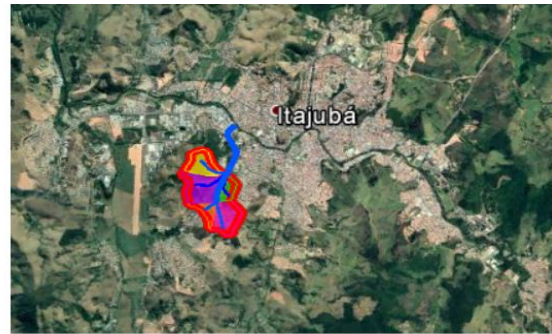
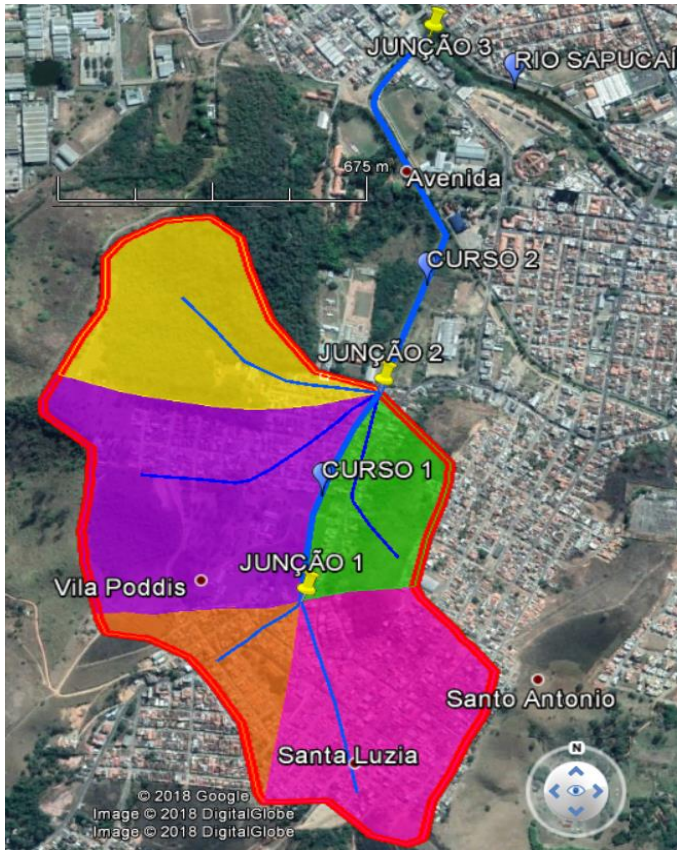
Caracterização física da microbacia

A metodologia utilizada neste trabalho foi obtida dos estudos de Tucci (2012). O método de transformação chuva-vazão adotado foi o Método SCS (*Soil Conservation Service*), atual NRCS (*National Resources Conservation Service*), devido à sua simplicidade e aplicabilidade à bacia de estudo. Esse método se baseia no conceito de hidrograma unitário, sendo esse o escoamento superficial resultante de uma chuva unitária (1 cm ou 1 mm), com duração determinada.

Logo, seguindo os procedimentos para determinação do escoamento superficial de uma bacia hidrográfica pelo Método SCS, inicialmente

realizou-se a caracterização física da mesma utilizando o *software* Google Earth Pro. A micro bacia de estudo está localizada no perímetro urbano do município de Itajubá, Minas Gerais, entre os bairros Vila Poddis, Santo Antônio e Santa Luzia. A área da micro bacia é de aproximadamente 0,81 km² e o perímetro de drenagem é de aproximadamente 3,98 km. Como o HEC-HMS é um modelo hidrológico que pode ser distribuído por sub-bacias, foi necessário discretizar a micro bacia em subáreas de captação. Essa discretização foi feita com base no relevo, ou seja, com base na

crista das elevações do terreno, que determinaram os divisores de água. Ainda seguindo as inclinações do relevo, os cursos d'água foram identificados com base nas menores elevações do terreno, acompanhando o fundo de vale do mesmo. Procurou-se avaliar os valores do escoamento superficial até a foz da micro bacia junto ao Rio Sapucaí, principal curso d'água do município. Por isso, identificou-se também o curso d'água que conecta a foz da micro bacia a este rio. Todos esses elementos encontram-se ilustrados na Figura 1.



LEGENDA:

- Sub área 1
- Sub área 2
- Sub área 3
- Sub área 4
- Sub área 5
- Perímetro da micro bacia de estudo
- Cursos d'água principais
- Cursos d'água das sub áreas

Figura 1. Localização da microbacia de estudo no município de Itajubá, Minas Gerais, bem como identificação de suas sub áreas e dos cursos d'água.

Fonte: adaptado de Google, 2018.

Para o cálculo da declividade média dos cursos d'água de todas as subáreas, do curso d'água principal da bacia (Curso 1), entre as junções 1 e 2, e do trecho que conecta a foz da micro bacia ao rio Sapucaí (Curso 2), entre as junções 2 e 3, foi adotado o método da declividade entre extremos (S1), adaptado de Santos et al. (2012), sendo esse apresentado por meio da expressão:

$$S1 = (z_1 - z_2) * L^{-1} \quad (1)$$

em que: S1 é a declividade média entre extremos em m/km; z₁ indica o valor da cota da cabeceira

(cota máxima) em metros; z₂ indica a cota da foz (cota mínima), também em metros; e L é comprimento do curso d'água principal em km. Todos os valores utilizados nessa expressão também foram obtidos utilizando o Google Earth Pro. Os resultados encontram-se representados na Tabela 1.

Tabela 1. Dados da caracterização física das subáreas da microbacia e dos cursos d'água.

Subárea / Curso d'água	Área (km ²)	Perímetro (km)	Declividade média (m/m)	Comprimento curso d'água (km)
1	0,204	1,786	0,06	0,466
2	0,074	1,556	0,08	0,236
<i>Curso 1</i>	-	-	<i>0,0225</i>	<i>0,534</i>
3	0,268	2,321	0,12	0,599
4	0,1	1,309	0,1	0,43
5	0,168	1,861	0,12	0,515
<i>Curso 2</i>	-	-	<i>0,00104</i>	<i>0,963</i>
Microbacia	0,813	3,985	0,043	1

Por fim, determinou-se o tipo de solo da microbacia de estudo. De posse do mapa das classes de solo do Estado de Minas Gerais, disponibilizado pelo Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa (DPS-UFV), foi delimitado o município de Itajubá utilizando o software ArcGIS 10.2. A partir dessa delimitação, pôde-se determinar as classes de solo do município e mais especificamente da bacia de estudo. Dessa forma, constatou-se que toda a área da microbacia é composta por Argissolo Vermelho-Amarelo com textura média/argilosa.

Caracterização hidrológica

Seguindo a metodologia de Tucci (2012) para aplicação do Método SCS, é necessário ainda conhecer o parâmetro CN (*Curve Number*) da bacia, além de seu tempo de concentração e hietograma da chuva de projeto.

O CN do Método SCS é um parâmetro empírico que está relacionado ao tipo de solo (grupo hidrológico) e ao uso e cobertura do mesmo, além das condições de umidade. É um parâmetro extremamente sensível (Fernandes et al., 2017), o que sugere um estudo minucioso das condições da bacia. Como o enfoque deste trabalho é avaliar o impacto do crescimento urbano nos hidrogramas de cheia, foram simuladas as respostas da bacia para três cenários de uso e ocupação do solo: (I) pré-urbanização; (II) atual; (III) futura. No cenário I, a bacia foi considerada como rural e foi adotada uma única condição de uso e ocupação do solo, sendo esta a de floresta de cobertura normal. Para o cenário II foi analisada a condição da bacia no ano de 2018, utilizando-se as imagens de satélite do Google Earth Pro. Já para o cenário III foi considerado o uso e ocupação predominante de construções residenciais e industriais, representando um avanço urbano expressivo. Dessa forma, para cada um dos cenários simulados

foram encontrados valores distintos do parâmetro CN.

Segundo Mota e Kobiyama (2015), o conceito de tempo de concentração t_c foi apresentado pela primeira vez por Thomas James Mulvany em 1851, sendo definido como a medida do tempo necessário para o escoamento superficial ocorrer do ponto mais remoto da bacia hidrográfica ao seu exutório. Em outras palavras, é o tempo necessário para que, durante uma chuva, toda a bacia contribua para a vazão na seção de saída da mesma. O cálculo do tempo de concentração pode ser obtido por diversas equações dependendo das características da bacia de estudo, conforme sugere Silveira (2005). A equação do tempo de concentração proposta pelo Método SCS, adotada para este estudo de caso, é expressa da seguinte forma:

$$t_c = 0,057 * ((1000/CN) - 9)^{0,7} * L^{0,8} * S_1^{-0,5} \quad (2)$$

em que: t_c é o tempo de concentração da bacia em horas; CN é o parâmetro do Método SCS cujo valor está compreendido entre 0 e 100; L é comprimento do curso d'água principal em km; e S_1 é a declividade média entre extremos do curso d'água principal em m/km.

A metodologia adotada para a construção do hietograma de projeto da bacia de estudo se baseou nos estudos de Bemfica et al. (2000). Segundo os autores, o hietograma de projeto pode ser definido como uma representação gráfica da distribuição temporal da intensidade de chuva numa determinada região para um determinado período de retorno. Sendo a bacia hidrográfica um sistema não-linear, as chuvas de projeto podem ser derivadas das chamadas curvas IDF.

As curvas IDF são formas gráficas da relação entre a intensidade da chuva com a duração e a frequência e, segundo Tucci (2012), as mesmas podem ser obtidas da expressão:

$$i = K * Tr^a / (b + t_d)^c \quad (3)$$

em que: i é a intensidade máxima da chuva em mm/h; Tr é o período de retorno em anos; t_d é a duração da precipitação em minutos; e K , a , b , c são os parâmetros empíricos obtidos de ajuste de regressão dos dados dos registros pluviográficos, lembrando que esses parâmetros empíricos são únicos para cada localidade. O tempo de retorno é arbitrado dependendo da obra hidráulica a ser dimensionada (DNIT, 2005) e a duração t_d , segundo o Método SCS (Tucci, 2012), é obtida do tempo de concentração a partir da expressão:

$$t_d = 0,133 * t_c \quad (4)$$

Dando continuidade ao procedimento descrito por Bemfica et al. (2000) para a construção do hietograma, após a determinação da equação IDF e definidos a duração total da chuva e o tempo de retorno, deve-se calcular as intensidades médias para intervalos iguais de duração até a duração total da chuva. As intensidades são transformadas, portanto, em alturas de chuva, representando os valores acumulados de precipitação até o último intervalo de duração. Uma maneira de organizar esses valores é por meio do Método dos Blocos Alternados (Tucci, 2012), em que o maior valor de precipitação é representado no centro da duração total da chuva, e os demais valores dispostos a esquerda e a direita do mesmo, em ordem decrescente e alternadamente. O gráfico resultante é denominado então hietograma de projeto.

Simulação hidrológica

Para geração do hidrograma da bacia de estudo, bem como estimativa do pico de vazão de cheia do mesmo, utilizou-se o *software Hydrologic Modeling System* do *Hydrologic Engineering Center*, mais conhecido como HEC-HMS. Este software simula a resposta da bacia para a chuva de projeto utilizando o Método SCS de transformação chuva-vazão e o Método Muskingum-Cunge de propagação de cheias, a partir dos seguintes dados de entrada: área de drenagem da bacia em km²; parâmetro CN; impermeabilidade do solo em %; tempo de concentração em minutos; comprimento e largura do curso d'água, ambos em metros;

declividade do curso d'água em m/m; coeficiente de rugosidade de Manning; e formato do perfil longitudinal do curso d'água.

Reservatório de detenção

As inundações urbanas podem ser controladas utilizando-se medidas estruturais e não-estruturais (Decina e Brandão, 2016; Momo et al., 2016). As medidas estruturais são aquelas que envolvem obras de drenagem e a terminologia não-estrutural é utilizada para definir medidas como sistemas de alerta de inundações e atividades de educação ambiental.

Segundo Silva e Cabral (2014), uma das principais medidas estruturais de drenagem para controle de vazões máximas em bacias urbanas é o reservatório de detenção. Essa obra hidráulica é aplicável em pequenos cursos d'água e em bacias urbanas altamente impermeabilizadas, funcionando como uma estrutura de acumulação temporária das águas pluviais (Ngo et al., 2016), tendo como principal objetivo o amortecimento dos picos de cheia (Assunção, 2012). Dentre as vantagens do reservatório de detenção, têm-se o seu caráter multifuncional, agregando áreas de lazer e contribuindo para a paisagem urbana. Além disso, esses reservatórios causam pouca interferência no funcionamento das atividades do espaço urbano e também facilitam a limpeza e manutenção, incluindo de sedimentos e lixos que são carregados pelo curso d'água e concentrados em seu interior (ABCP, 2013). A Figura 2 apresenta um desenho esquemático de um reservatório de detenção a céu aberto, indicado para quando se dispõe de espaços para executar grandes áreas de contenção.

Dentre os estudos de caso envolvendo bacias de detenção, têm-se como exemplos os trabalhos de Maria Filho et al. (2016), Kaboosi e Jelini (2017), Ngo et al. (2018) e Peroni (2018). Todos esses reservatórios anteriormente mencionados apresentaram resultados satisfatórios, atendendo com eficiência aos objetivos pretendidos com a sua concepção.

Dessa forma, além da simulação da resposta da bacia para a chuva de projeto calculada, outra proposta deste trabalho foi o dimensionamento preliminar de um reservatório de detenção como forma de complementar a análise do impacto do crescimento urbano.

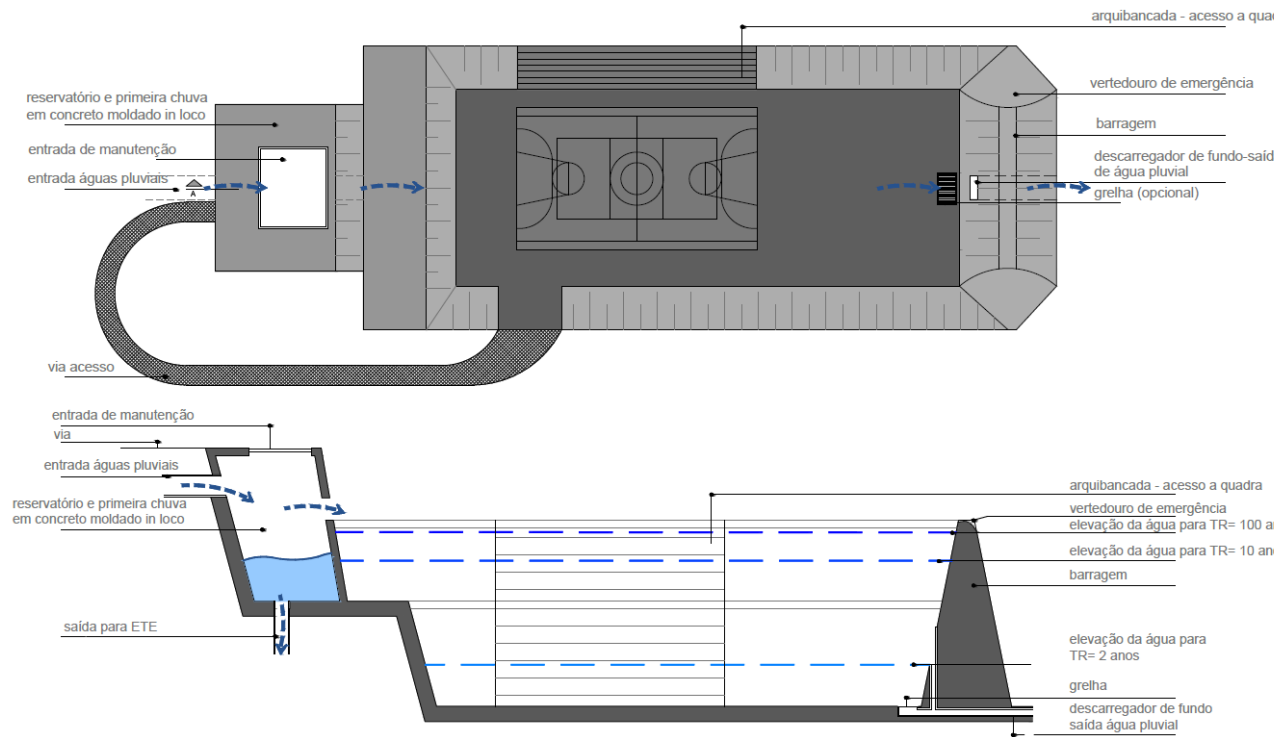


Figura 2. Esquema de um reservatório de detenção multifuncional a céu aberto, com a inclusão de uma quadra de esportes.

Fonte: ABCP, 2013.

Resultados e discussão

Simulações do escoamento superficial

Conhecida a classe de solo correspondente à bacia de estudo e suas características, foi possível determinar o grupo hidrológico com base nos estudos de Sartori et al. (2005). Sendo assim, determinou-se que a bacia de estudo pertence ao grupo hidrológico B, grupo este representado por solos com moderadas taxas de infiltração, resistência e tolerância a erosão.

Como o presente trabalho buscou avaliar as vazões de cheia para três cenários de uso e ocupação do solo, foram calculados três valores para o parâmetro CN, um para cada situação. O CN médio da bacia para cada cenário foi determinado adotando-se a classificação apresentada por Tucci (2012), que propõe a subdivisão da bacia de acordo com o uso e cobertura do solo, atribuindo um valor de CN para cada caso. Quanto maior a impermeabilização do solo, maiores os valores de CN. Por fim, foi realizado o cálculo do CN médio por meio da expressão:

$$CN_m = \sum(CN_i * A_i) / \sum A \quad (5)$$

em que: CN_m é o CN médio da bacia; CN_i é o CN de cada uso e cobertura do solo; A_i é a área correspondente a cada uso e cobertura do solo; e A é a área total da bacia. Os valores de CN para cada cenário proposto são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de CN encontrados para a microbacia de estudo, para cada cenário analisado.

Cenário	CN médio
I. Pré-urbanização	60,0
II. Atual	70,3
III. Futuro	81,7

Como a equação de tempo de concentração do método SCS Lag depende do parâmetro CN, para cada cenário proposto foi calculado um tempo de concentração. Além do valor de CN, a equação também depende dos valores da declividade média e do comprimento do curso d'água principal. Por meio da equação 2, obteve-se os valores de tempo de concentração, que são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Valores de t_c encontrados para a microbacia de estudo, para cada cenário analisado.

Cenário	t _c (min)
I. Pré-urbanização	68,63
II. Atual	52,48
III. Futuro	37,54

Pode-se observar que, para este estudo de caso, quanto maior o valor de CN, menor o valor do tempo de concentração. Ou seja, quanto maior a impermeabilização do solo, mais rápida a resposta da bacia.

Para a determinação da chuva de projeto foi utilizado o Método dos Blocos Alternados. Inicialmente obteve-se os parâmetros empíricos da equação 3 para o município de Itajubá do *software* Plúvio 2.1 disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos da Universidade Federal de Viçosa (GPRH/UFV), sendo a equação IDF para o município expressa da seguinte forma:

$$i = 1192,985 * T_i^{0,171} / (11,302 + t_d)^{0,850} \quad (6)$$

O tempo de retorno adotado foi o de 25 anos, considerado o valor máximo usualmente adotado para obras de drenagem urbana, uma vez que se espera que o reservatório de retenção tenha uma vida útil longa. Embora o Método SCS sugira que o tempo de duração da chuva t_d deva ser cerca de 13% do tempo de concentração t_c, por se tratar de uma microbacia com tempo de concentração muito baixo, a equação 4 não foi utilizada para o cálculo. Dessa forma, o tempo de duração total da chuva adotado foi de 110 minutos (1 hora e 50 minutos), um pouco a mais que o dobro do tempo de concentração calculado para o cenário atual (vide Tabela 3). O intervalo de tempo adotado foi de 5 minutos, de forma a obter um melhor ajuste do hidrograma resultante. Na Tabela 4 encontram-se os dados referentes a construção do hietograma da chuva de projeto e o mesmo encontra-se representado na Figura 3. É importante ressaltar que, embora cada cenário possua um tempo de concentração distinto, será utilizado o mesmo hietograma de chuva para todos os cenários.

Tabela 4. Dados para cálculo da chuva de projeto segundo o Método dos Blocos Alternados.

Tempo (min)	i (mm/h)	Pacum (mm)	ΔP (mm)	Chuva de projeto (mm)
5	192,88	16,07	16,07	0,69
10	153,65	25,61	9,53	0,76
15	128,44	32,11	6,5	0,86
20	110,78	36,93	4,82	0,98
25	97,67	40,69	3,77	1,15
30	87,52	43,76	3,07	1,37
35	79,42	46,33	2,57	1,69
40	72,79	48,53	2,2	2,2
45	67,26	50,44	1,92	3,07
50	62,56	52,14	1,69	4,82
55	58,53	53,65	1,52	9,53
60	55,02	55,02	1,37	16,07
65	51,94	56,27	1,25	6,5
70	49,21	57,42	1,15	3,77
75	46,78	58,48	1,06	2,57
80	44,59	59,46	0,98	1,92
85	42,62	60,38	0,92	1,52
90	40,82	61,23	0,86	1,25
95	39,19	62,04	0,81	1,06
100	37,68	62,81	0,76	0,92
105	36,3	63,53	0,72	0,81
110	35,03	64,21	0,69	0,72

Onde: i é a intensidade da chuva em mm/h; Pacum é a altura de chuva acumulada em mm; ΔP é a altura de chuva desacomulada em mm.

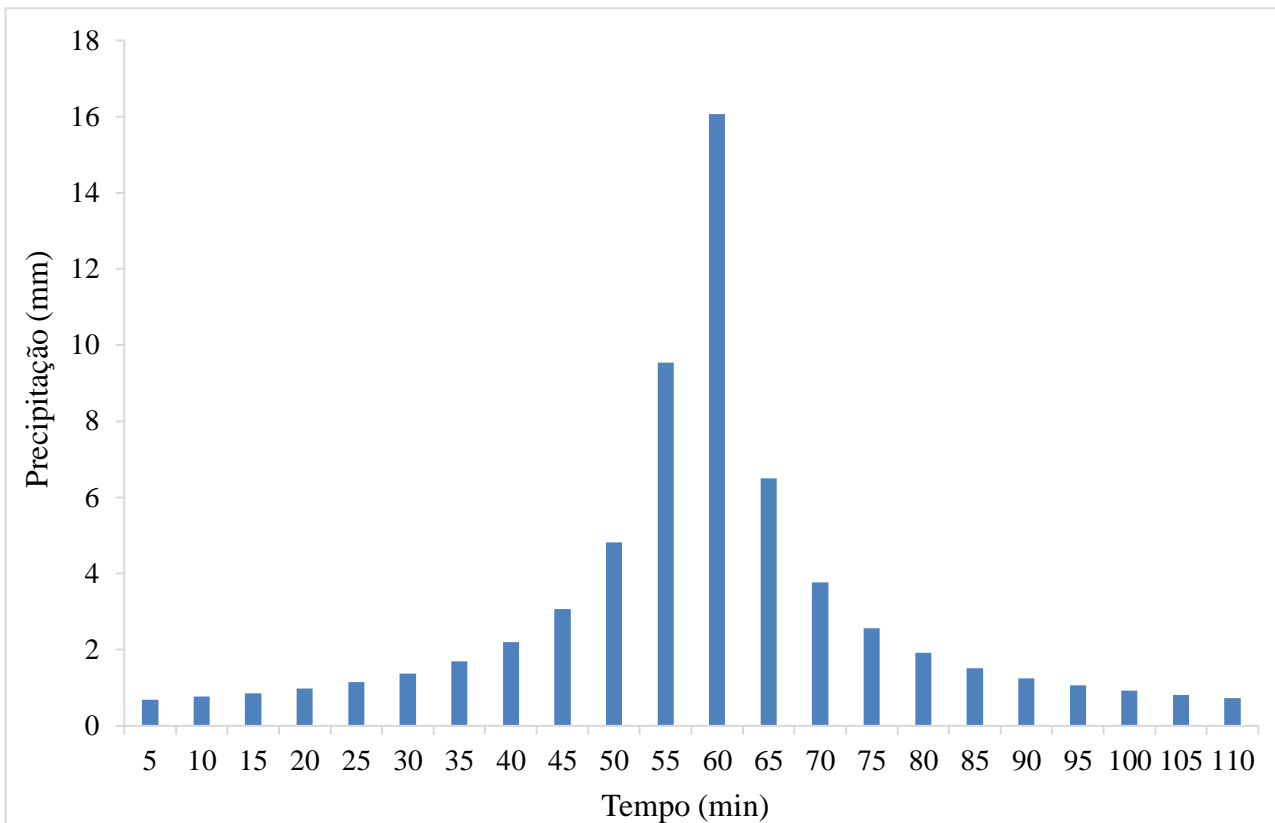


Figura 3. Hietograma da chuva de projeto segundo o Método dos Blocos Alternados.

Realizada toda a caracterização física e hidrológica necessária, as simulações do escoamento superficial para cada cenário foram realizadas utilizando o *software* HEC-HMS 4.2.1 (USACE, 2016). Inicialmente foi criada uma chuva de projeto com os mesmos dados da Tabela 4, exceto que a duração total da chuva foi de 10 horas para melhor ajuste do hidrograma resultante, sendo os valores de precipitação dos intervalos superiores a 110 minutos igualados a zero.

O esquema da bacia de estudo (Figura 1) para os três cenários está representado na Figura 4. Os dados de entrada utilizados para as simulações no cenário pré-urbanização, atual e futuro estão representados nas Tabelas 5, 6 e 7, respectivamente, sendo os valores do coeficiente de Manning obtidos de Porto (2006), e os valores de impermeabilidade do solo desconsiderados porque já estão incluídos nos valores de CN estimados. Os resultados das simulações, ou seja, os hidrogramas resultantes na junção 3 para cada cenário estão ilustrados na Figura 5. Os valores de vazão máxima obtidos das simulações foram de 0,82 m³/s para o cenário pré-urbanização (I), 2,21

m³/s para o cenário atual (II) e 4,07 m³/s para o cenário futuro (III). Alisando esses resultados, nota-se que o maior valor de vazão máxima calculado foi o do cenário que apresentou maior valor de CN, ou seja, maior impermeabilização do solo (cenário futuro). Se compararmos com o valor calculado para o cenário pré-urbanização, que supõe uma ocupação do solo natural e sem interferência antrópica, há uma superação do valor em cerca de cinco vezes. Essa análise mostra a relação direta entre a impermeabilização do solo e a geração de vazão, uma vez que um aumento de 36,17% do valor de CN resultou em um aumento de 396,34% na vazão de pico simulada (comparando os valores dos cenários I e III). Além disso, como neste estudo a impermeabilização do solo é causada pelo avanço da urbanização, estes resultados também reforçam os estudos de Du et al. (2015), Kang et al. (2016), Sardinha e Godoy (2016) e Gao et al. (2017), que concluíram que a expansão urbana tem influência direta no aumento das vazões que conseqüentemente possam provocar inundações no espaço urbano.

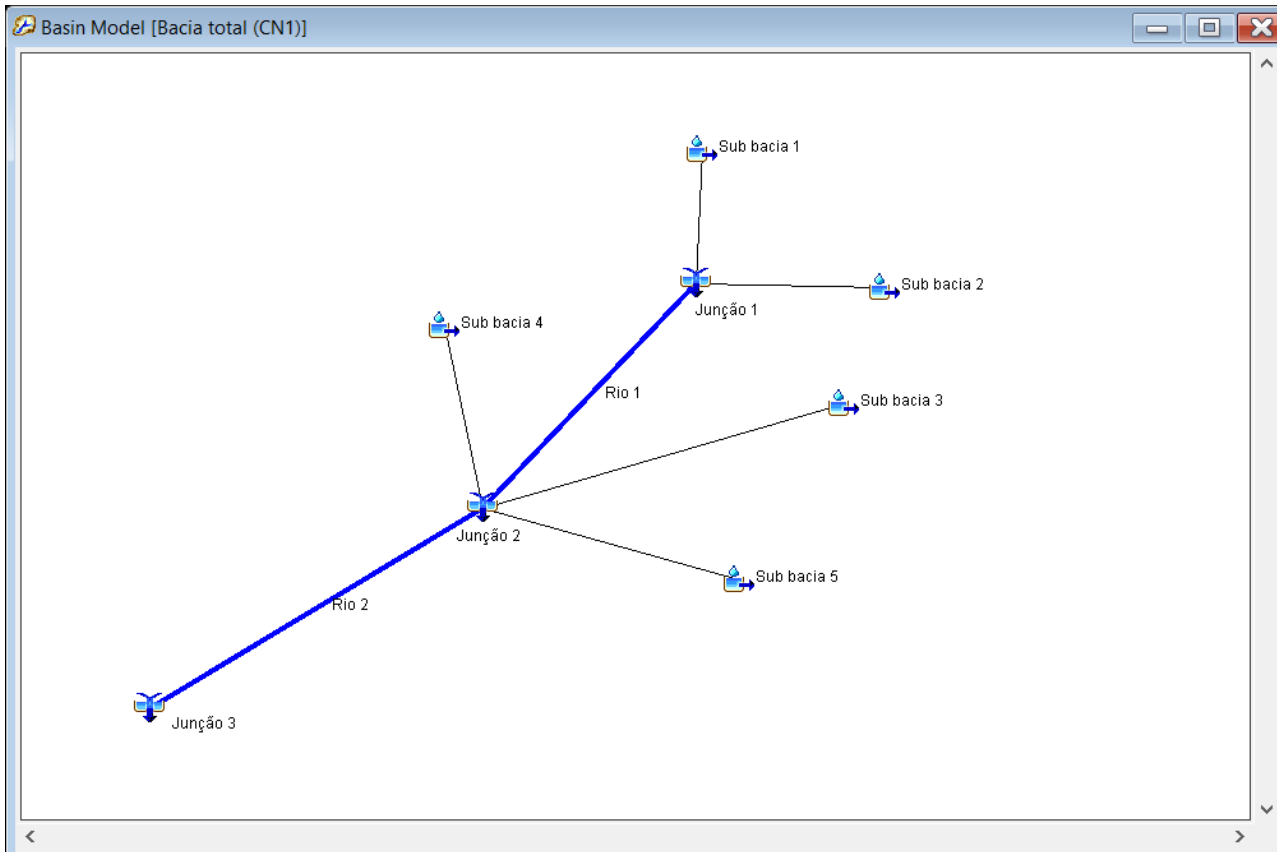


Figura 4. Esquema da bacia de estudo no software HEC-HMS 4.2.1.

Tabela 5. Dados de entrada utilizados para as simulações no HEC-HMS 4.2.1 (cenário pré-urbanização).

Sub-bacia	Área (km ²)	CN	Impermeabilidade (%)	t _c (min)	
1	0,204	60	0	30,45	
2	0,074	60	0	16,23	
3	0,268	60	0	27,05	
4	0,100	60	0	22,40	
5	0,168	60	0	23,93	
Rio	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Coefficiente de Manning	Formato	Largura (m)
1	534,0	0,02247	0,035*	Retangular	2,0
2	963,0	0,00104	0,035*	Retangular	2,0

* Rio limpo, retilíneo e uniforme com vegetação e pedras em condição regular

Tabela 6. Dados de entrada utilizados para as simulações no HEC-HMS 4.2.1 (cenário atual).

Sub-bacia	Área (km ²)	CN	Impermeabilidade (%)	t _c (min)	
1	0,204	74,12	0	20,94	
2	0,074	76,77	0	10,34	
3	0,268	71,65	0	19,94	
4	0,100	73,31	0	15,76	
5	0,168	58,97	0	24,56	
Rio	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Coefficiente de Manning	Formato	Largura (m)
1	534,0	0,02247	0,016*	Retangular	2,0

2	963,0	0,00104	0,030**	Retangular	2,0
---	-------	---------	---------	------------	-----

* Canal com revestimento de concreto em condição regular
 ** Rio limpo, retilíneo e uniforme

Tabela 7. Dados de entrada utilizados para as simulações no HEC-HMS 4.2.1 (cenário futuro).

Sub-bacia	Área (km ²)	CN	Impermeabilidade (%)	t _c (min)
1	0,204	78,13	0	18,63
2	0,074	80,41	0	9,26
3	0,268	82,34	0	14,50
4	0,100	77,88	0	13,80
5	0,168	88,10	0	10,46

Rio	Comprimento (m)	Declividade (m/m)	Coefficiente de Manning	Formato	Largura (m)
1	534,0	0,02247	0,016*	Retangular	2,0
2	963,0	0,00104	0,030**	Retangular	2,0

* Canal com revestimento de concreto em condição regular
 ** Rio limpo, retilíneo e uniforme

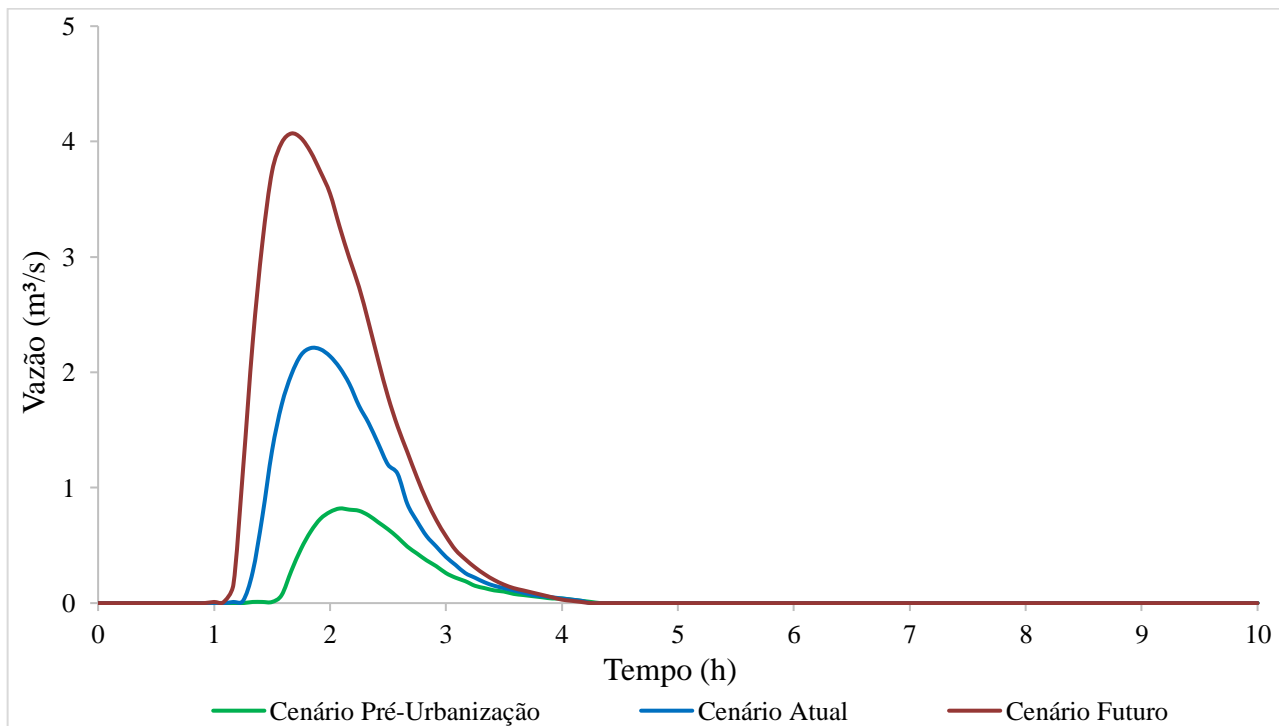


Figura 5. Hidrogramas resultantes na foz junto ao Rio Sapucaí, com indicação da vazão de pico, para cada um dos cenários.

Pré-dimensionamento de um reservatório de detenção

Para este estudo foi também proposto o pré-dimensionamento de um reservatório de detenção a jusante do exutório da bacia para atenuação dos picos de cheia. O objetivo foi permitir uma análise das dimensões dessa obra

hidráulica para os cenários atual e futuro, pois quanto maior a dimensão da obra, maiores serão os gastos para executá-la. Logo, esta análise servirá também para alertar os gestores municipais para os possíveis gastos extras com medidas mitigadoras de inundação caso estas não sejam realizadas com antecedência.

O esquema da bacia de estudo (Figura 1) para os cenários atual e futuro, com a inclusão do reservatório, está representado na Figura 6. O dimensionamento do reservatório foi sendo ajustado até que o hidrograma resultante correspondesse ao da sua condição natural, ou seja, até que a vazão máxima na foz com o Rio Sapucaí para o respectivo cenário fosse igual ou menor que a vazão máxima na foz com o Rio Sapucaí para o cenário pré-urbanização. Os valores correspondentes ao dimensionamento para os cenários atual e futuro estão representados nas

Tabelas 8 e 9, respectivamente. Os demais dados de entrada referentes as sub-bacias e aos cursos d'água (rios 1 e 2) são os mesmos das Tabelas 6 (para o cenário atual) e 7 (para o cenário futuro). Os resultados das simulações, ou seja, os hidrogramas das vazões de entrada e de saída do reservatório, bem como a altura máxima da água dentro do mesmo, estão ilustrados nas Figuras 7 e 8, para cada um dos cenários. Já a Figura 9 ilustra os hidrogramas das vazões que chegam ao Rio Sapucaí (junção 3 do esquema da bacia).

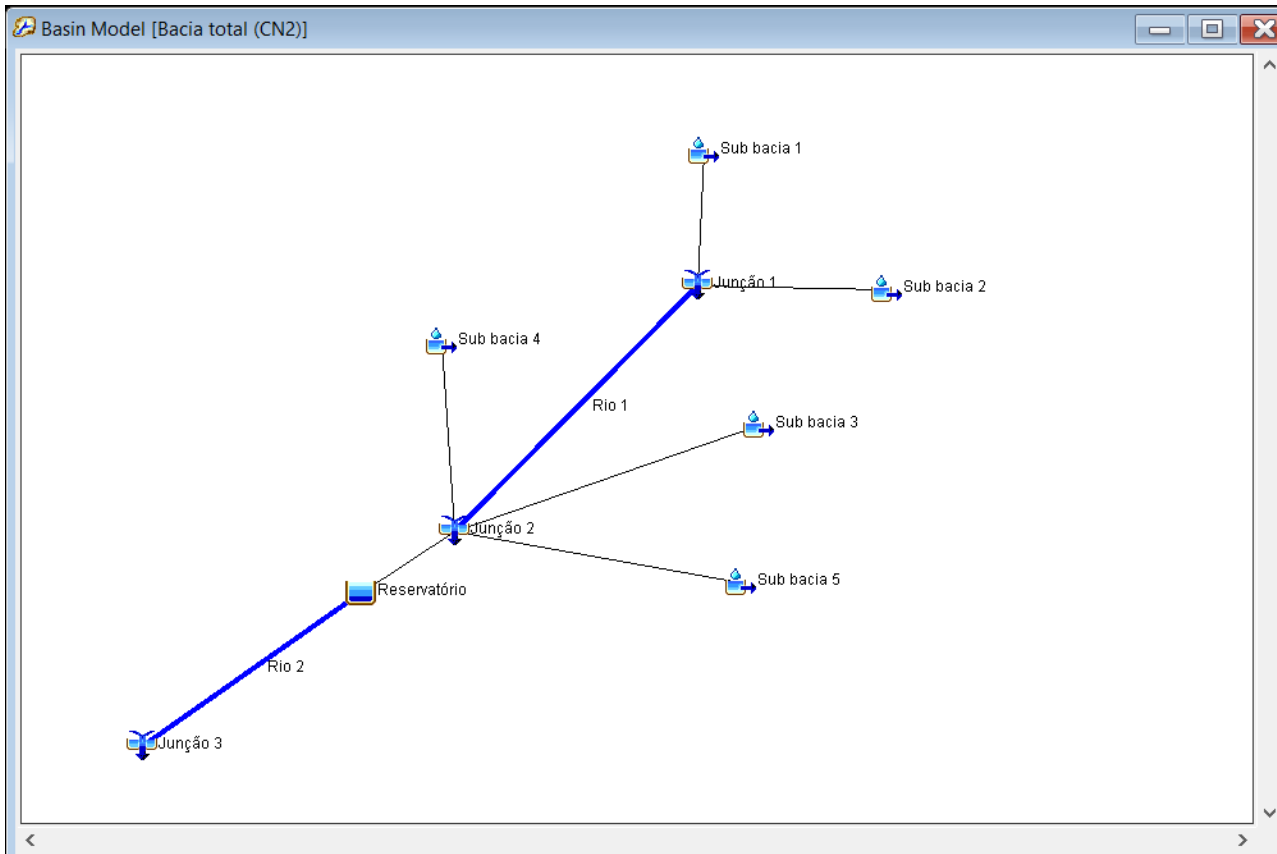


Figura 6. Esquema da bacia de estudo no *software* HEC-HMS 4.2.1 com a inclusão do reservatório.

Tabela 8. Valores correspondentes ao dimensionamento do reservatório para o cenário atual.

RESERVATÓRIO									
Método	Método de armazenamento	Função Elevação-Área*	Condição Inicial	Elevação Inicial (m)	Curso d'água a jusante	Altura Fixa (m)	Nº Orifícios	Nº Vertedores	
Estruturas de saída	Elev-área	Cota-área	Elevação	1,1	Estado Fixo	1,1	1	1	
ORIFÍCIO									
Método		Direção		Altura centróide (m)		Área (m ²)	Coeficiente		
Orifício de saída		Principal		0,5		0,25	0,6		
VERTEDOR									
Método		Direção		Altura (m)		Largura (m)	Coeficiente		

Crista-larga	Principal	4,0	10,0	1,6
--------------	-----------	-----	------	-----

* FUNÇÃO ELEV-ÁREA (Cota- área)	
Elevação (m)	Área (m ²)
0	0
1,0	5000,0
5,0	5000,0
10,0	5000,0

Tabela 9. Valores correspondentes ao dimensionamento do reservatório para o cenário futuro.

RESERVATÓRIO								
Método	Método de armazenamento	Função Elevação-Área*	Condição Inicial	Elevação Inicial (m)	Curso d'água a jusante	Altura Fixa (m)	Nº Orifícios	Nº Vertedores
Estruturas de saída	Elev-área	Cota-área	Elevação	1,1	Estado Fixo	1,1	2	1

ORIFÍCIO					
Orifício	Método	Direção	Altura centróide (m)	Área (m ²)	Coeficiente
1	Orifício de saída	Principal	0,5	0,08	0,6
2	Orifício de saída	Principal	0,5	0,08	0,6

VERTEDOR					
Método	Direção	Altura do vertedor (m)	Largura (m)	Coeficiente	
Crista-larga	Principal	6,0	10,0	1,6	

* FUNÇÃO ELEV-ÁREA (Cota- área)	
Elevação (m)	Área (m ²)
0	0
1,0	5000,0
5,0	5000,0
10,0	5000,0

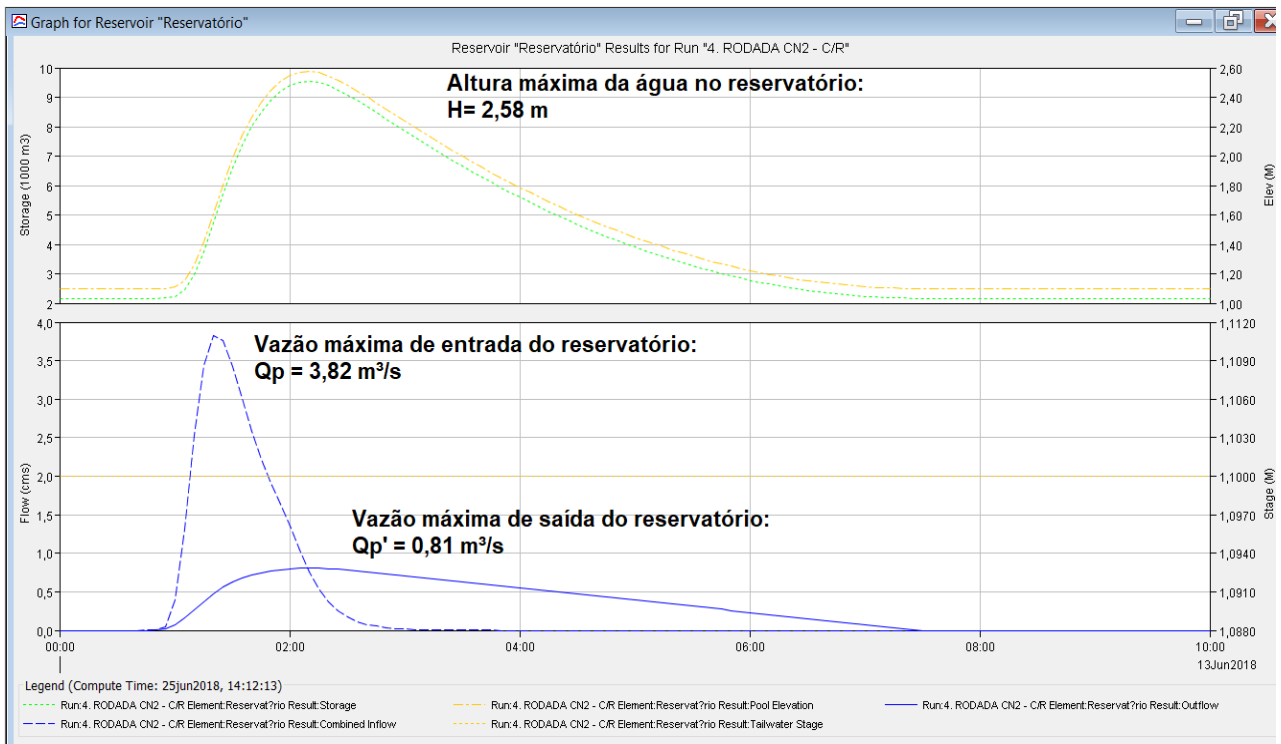


Figura 7. Hidrogramas das vazões de entrada e de saída do reservatório com indicação das vazões de pico, e a altura máxima da água dentro do mesmo (cenário atual).

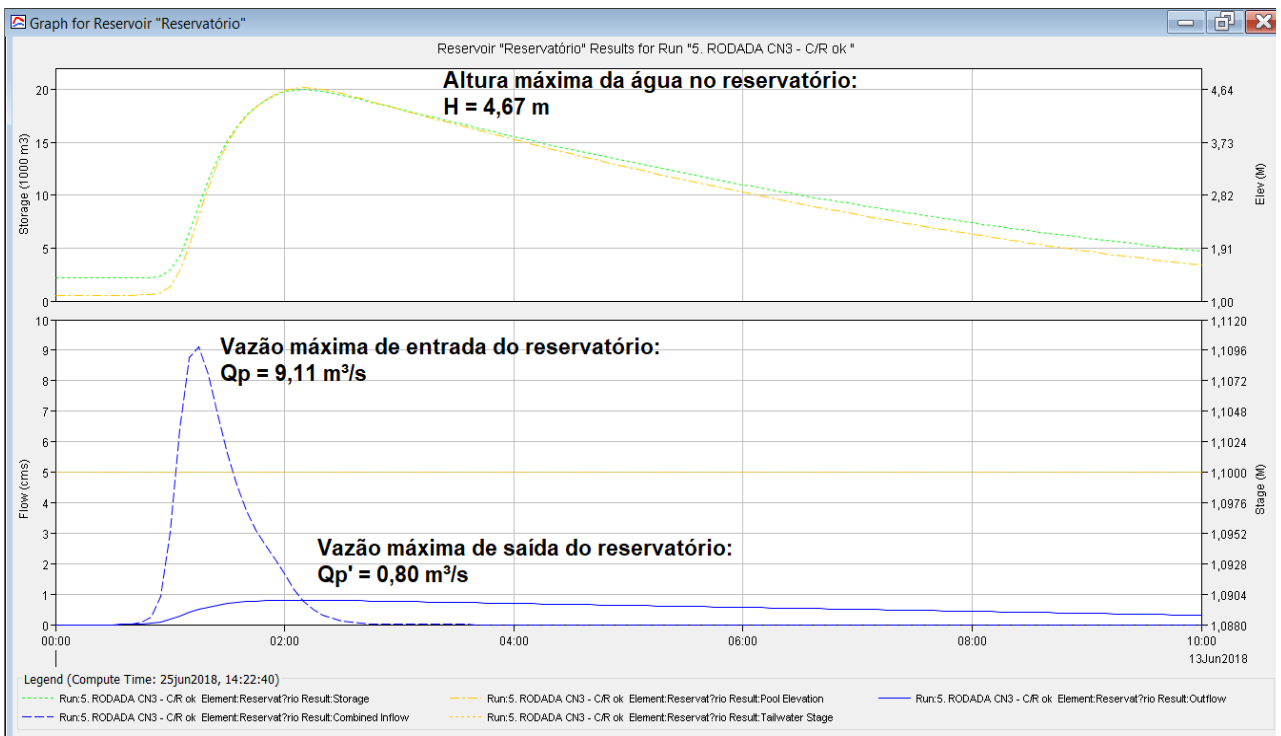


Figura 8. Hidrogramas das vazões de entrada e de saída do reservatório com indicação das vazões de pico, e a altura máxima da água dentro do mesmo (cenário futuro).

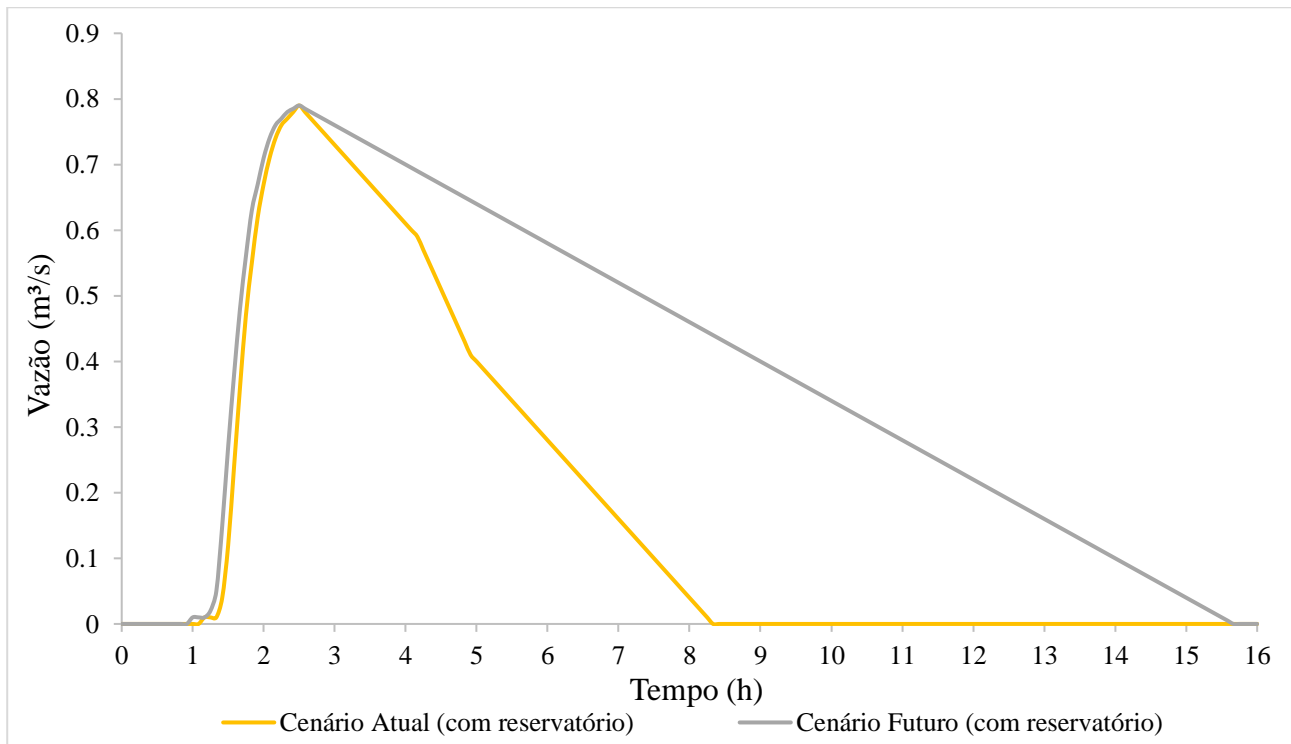


Figura 9. Hidrogramas resultantes na foz com o Rio Sapucaí, com indicação da vazão de pico, com inclusão do reservatório (para o cenário atual e futuro).

A duração da chuva foi alterada de 10 horas para 16 horas na Figura 10 apenas para se obter uma melhor representação do hidrograma. As Tabelas 8 e 9 apresentam, dentre outros valores, as áreas ocupadas pelos dois reservatórios, sendo estas iguais a 5000 m². Porém, nas mesmas tabelas é possível perceber que, embora as áreas sejam idênticas, as alturas dos reservatórios são distintas, sendo de 4 m para o cenário atual e de 6 m para o cenário futuro. Isso se explica pois, como o volume do escoamento produzido para o cenário futuro é muito maior do que para o cenário atual, justificado pela ausência quase que total de infiltração de água no solo causada pela maior impermeabilização do mesmo, a capacidade de armazenamento do reservatório teve que ser aumentada em 50%.

É importante ressaltar que o reservatório no cenário atual foi superdimensionado, pois a altura máxima que a água atinge no reservatório (para a chuva adotada) é de 2,58 metros e o vertedor está na altura de 4,0 metros (Figura 7). Optou-se por deixar esse dimensionamento para atenuar eventos extremos (casos em que os valores de precipitação sejam superiores aos adotados). O mesmo ocorreu com o reservatório do cenário

futuro, uma vez que a altura máxima que a água atinge no reservatório (para a chuva adotada) é de 4,67 metros e o vertedor está na altura de 6,0 metros (Figura 8). A mesma justificativa cabe a este caso.

Análise dos resultados

Os hidrogramas resultantes das simulações para todas as condições estão representados na Figura 10. Além das análises realizadas anteriormente, é importante observar que, mesmo o reservatório cumprindo o objetivo de atenuar o pico de cheia para os cenários atual e futuro, os tempos de base dos hidrogramas que incluem essa obra hidráulica são consideravelmente superiores ao do cenário pré-urbanização. Em números, os tempos de base são de aproximadamente 9 h para o cenário atual e 16 h para o cenário futuro, cerca de 80% e 220%, maiores, respectivamente, que o tempo de base para o cenário pré-urbanização, que é de aproximadamente 5h. Ou seja, o reservatório do cenário futuro levaria um tempo três vezes maior do que a bacia em seu estado natural para verter toda a água precipitada.

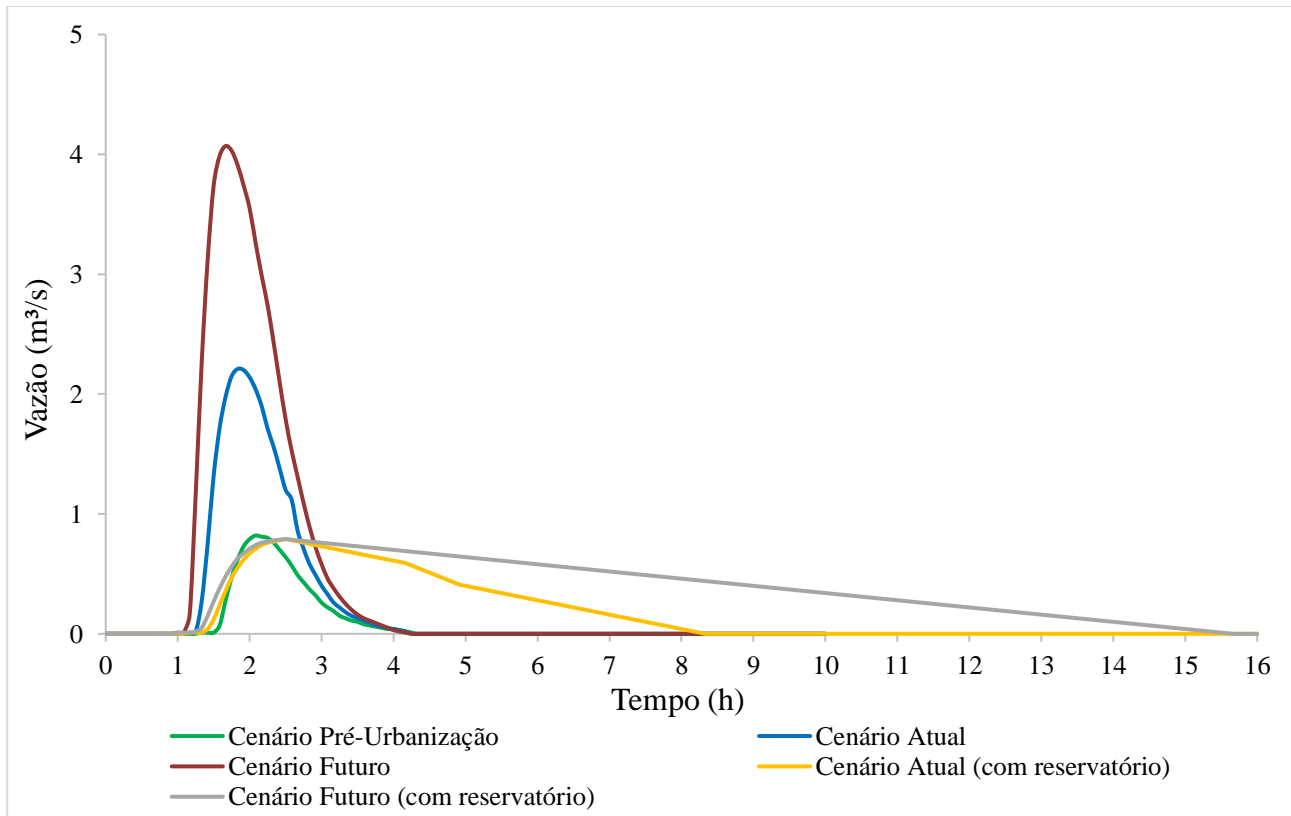


Figura 10. Hidrogramas de cheia resultantes para cada condição.

Considera-se, a partir das análises, que nos casos em que as bacias urbanas não estejam completamente impermeabilizadas, se invista em uma recuperação do solo e da vegetação natural, para aumentar a infiltração da água precipitada. Isso diminuiria a necessidade de construção de reservatórios de grandes dimensões, e em alguns casos, poderia até suprir a obrigação deles. É possível ainda mesclar as duas alternativas com a construção de reservatórios que permitam a infiltração da água no solo, as chamadas Lagoas de Detenção e Infiltração (LDI). Righetto e Freitas (2016) utilizaram este modelo em seu trabalho e concluíram que a LDI se mostrou eficiente tanto no controle de cheias quanto na contribuição do processo de recarga dos aquíferos.

Devemos lembrar que os eventos de inundação, assim como os eventos de seca, são considerados extremos hidrológicos. Dessa forma, podemos tomar a experiência da Califórnia em relação ao manejo de água no período de seca entre 2012 e 2016, apresentada no trabalho de Lund et al. (2018). Os autores chegaram a diversas conclusões pertinentes e, dentre elas, destacaram que a crise hídrica motivou melhorias na gestão de água, incluindo a criação de uma legislação que exige

uma melhor administração das águas subterrâneas locais, além de melhorias na conservação da água urbana. Ou seja, eventos extremos fornecem oportunidades e incentivos para melhoras e ajustes na gestão da água.

Conclusões

Concluiu-se, portanto, que o crescimento urbano influencia significativamente nos hidrogramas de cheia, uma vez que o maior valor de vazão simulado correspondeu à condição em que se supôs um aumento expressivo da ocupação urbana na bacia. Além disso, o reservatório para esta mesma condição apresentou os maiores valores de dimensionamento, o que significa maiores gastos financeiros para sua execução. Isso, portanto, justifica a necessidade de um planejamento prévio de ocupação por parte da gestão municipal a fim de se evitar futuros gastos extras com medidas mitigadoras de inundação. Ressalta-se ainda a importância de um sistema de gerenciamento de água mais eficiente e diversificado, de forma a evitar possíveis consequências desastrosas dos eventos de inundação tanto para a população quanto para o meio ambiente.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Referências

- ABCP. Associação Brasileira de Cimento Portland, 2013. Projeto técnico: Reservatórios de detenção. São Paulo.
- Aragão, R., Cruz, M.A.S., Correia, E.C.O., Machado, L.F.M., Figueiredo, E.E., 2017. Impacto do uso do solo pelo aumento da densidade populacional sobre o escoamento numa área urbana do Nordeste Brasileiro via geotecnologias e modelagem hidrológica. *Revista Brasileira de Geografia Física* 10, 543-557. Disponível: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20170035>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Assunção, V.R.A., 2012. Proposta de metodologia de cálculo para reservatórios de detenção em bacias hidrográficas urbanizadas. Dissertação (Mestrado) São Carlos, EESC/USP.
- Barbosa, A.A., Oliveira, G.M., Oliveira, T.J., 2015. Histórico de enchentes em Itajubá/MG. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 9, 125-140. Disponível: <http://dx.doi.org/10.22292/mas.v9i4.437>. Acesso em: 11 out. 2018.
- Bemfica, D.C., Goldenfum, J.A., Silveira, A.L.L., 2000. Análise da aplicabilidade de padrões de chuva de projeto a Porto Alegre. *Revista Brasileiro de Recursos Hídricos* 5, 5-16. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v5n4.p5-16>. Acesso em: 08 out. 2018.
- Chaves, S.V.V., Tavares, A.C., Andrade, C.S.P., 2017. Vulnerabilidade às inundações em Teresina, Piauí e ações mitigadoras do Poder Público. *Sociedade e Território* 29, 175-197. Disponível: <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2017v29n2ID12533>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- D'ávila, W.P.S., 2018. Análise ambiental dos fatores de risco de inundação no Rio Marinho – Grande Vitória, Espírito Santo. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 14, 74-89. Disponível: <https://doi.org/10.22292/mas.v14i7.628>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Decina, T.G.T., Brandão, J.L.B., 2016. Análise de desempenho de medidas estruturais e não estruturais de controle de inundações em uma bacia urbana. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 21, 207-217. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41520201600100116134>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- DNIT. Departamento Nacional de Infra-Estrutura de Transportes, 2005. Manual de hidrologia básica para estruturas de drenagem. Rio de Janeiro.
- DPS-UFV. Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa, 2010. Mapas de Solos do Estado de Minas Gerais. Viçosa.
- Du, S., Shi, P., Rompaey, A.V., Wen, J., 2015. Quantifying the impact of impervious surface location on flood peak discharge in urban areas. *Natural Hazards* 76, 1457-1471. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1463-2>. Acesso em: 17 out. 2018.
- Fernandes, R.O., Costa, C.T.F., Studart, T.M.C., 2017. Análise de sensibilidade em hidrogramas de cheias máximas obtidos pelo método do SCS em uma bacia urbana. *Águas Subterrâneas* 31, 243-254. Disponível: <https://doi.org/10.14295/ras.v31i3.28812>. Acesso em: 08 out. 2018.
- Gao, Y., Yuan, Y., Wang, H., Schmidt, A.R., Wang, K., YE, L., 2017. Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC-HMS model. *Water Science & Technology* 75, 2130-2138. Disponível: <https://doi.org/10.2166/wst.2017.023>. Acesso em: 17 out. 2018.
- Google, 2018. Google Earth Pro, Version 7.3.
- Kaboosi, K., Jelini, R., 2017. The efficiency of detention reservoirs for flood control on the Jafar Abad River in Golestan Province (Iran). *Russian Meteorology and Hydrology* 42, 129-134. Disponível: <https://doi.org/10.3103/S1068373917020078>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- Kang, K., Lee, J., Chun, J.A., Timlin, D., 2018. Impact of altered land use on the hydrology of urban territories. *Russian Meteorology and Hydrology* 43, 197-202. Disponível: <https://doi.org/10.3103/S1068373918030093>. Acesso em: 17 out. 2018.
- Koneti, S., Sunkara, S.L., Roy, P.S., 2018. Hydrological modeling with respect to impact of land-use and land-cover change on the runoff dynamics in Godavari River Basin using the HEC-HMS model. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 7, 1-17. Disponível: <https://doi.org/10.3390/ijgi7060206>. Acesso em: 15 out. 2018.

- Laouacheria, F., Mansouri, R., 2015. Comparison of WBNM and HEC-HMS for runoff hydrograph prediction in a small urban catchment. *Water Resources Management* 29, 2485-2501. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11269-015-0953-7>. Acesso em: 15 out. 2018.
- Lorena, E.M.G., Sobral, D.M., Lira, A.S., Moraes, A.S., Rolim Neto, F.C., Holanda, R.M., 2018. Modelo de diagnóstico de risco de inundações em área urbana na Zona da Mata de Pernambuco, Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress* 3, 210-217. Disponível: <https://doi.org/10.24221/jeap.3.2.2018.1804.%25p>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Lund, J., Medellin-Azuara, J., Durand, J., Stone, K., 2018. Lessons from California's 2012–2016 Drought. *Journal of Water Resources Planning and Management* 144, 1-13. Disponível: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000984](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000984). Acesso em: 21 out. 2018.
- Magnano, R.F., Calásio, B.M., Miranda, E.N., Bruchado, I.J., Flores, M.B., Medeiros, P., Souza, P.R., 2015. Incidência de desastres naturais em Santa Catarina de 2011 a 2013. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 4, 156-175. Disponível: <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e12015156-175>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- Maria Filho, P.J., Targa, M.S., Santos, P.S., Mostarda Neto, N., 2016. Barragens de detenção em bacia hidrográfica com o uso de curvas cota-volume e hidrogramas triangulares sintéticos. *Revista Ambiente & Água* 11, 1119-1135. Disponível: <http://www.ambi-agua.net/seer/index.php/ambi-agua/article/view/1900>. Acesso em: 14 fev. 2019.
- Minervino, A.C., Duarte, E.C., 2016. Danos materiais causados à Saúde Pública e à sociedade decorrentes de inundações e enxurradas no Brasil, 2010-2014: dados originados dos sistemas de informação global e nacional. *Ciência e Saúde Coletiva* 21, 685-694. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-81232015213.19922015>. Acesso em: 15 fev. 2019.
- Momo, M.R., Pinheiro, A., Severo, D.L., Cuartas, L.A., Nobre, A.D., 2016. Desempenho do modelo HAND no mapeamento de áreas suscetíveis à inundação usando dados de alta resolução espacial. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21, 200-208. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p200-208>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- Mota, A.A., Kobiyama, M., 2015. Reconsiderações sobre a fórmula de Kirpich para o cálculo de tempo de concentração. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 20, 55-59. Disponível: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n1.p55-59>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- Ngo, T.T., Yoo, D.G., Kim, J.H., 2018. Decentralization-based optimization of detention reservoir systems for flood reduction in urban drainage areas. *Urban Water Journal* 15, 445-452. Disponível: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2018.1508600>. Acesso em: 22 jan. 2019.
- Ngo, T.T., Yoo, D.G., Lee, Y.S., Kim, J.H., 2016. Optimization of upstream detention reservoir facilities for downstream flood mitigation in urban areas. *Water* 8, 1-14. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w8070290>. Acesso em: 23 jan. 2019.
- Peroni, C.S.L., 2018. Avaliação de bacias de detenção na gestão de águas pluviais em Araraquara, SP. Dissertação (Mestrado) São Carlos, UFSCAR.
- Porto, R.M., 2006. Hidráulica básica, 4 ed. EESC-USP, São Carlos.
- Reboita, M.S., Marietto, D.M.G., Souza, A., Barbosa, M., 2017. Caracterização atmosférica quando da ocorrência de eventos extremos de chuva na região sul de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Climatologia* 21, 20-37. Disponível: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.47577>. Acesso em: 15 out. 2018.
- Rezende, G.B.M., Araújo, S.M.S., 2016. As cidades e as águas: ocupações urbanas nas margens de rios. *Revista de Geografia (Recife)* 33, 119-135.
- Righetto, A.M., Freitas, B., 2016. Hydrological modeling of a detention reservoir: flood control and aquifer recharge. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 21, 752-765. Disponível: <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011616041>. Acesso em: 22 out. 2018.
- Santos, D.B., Vidotto, M.L., Bertinatto, R., Marcon, G.R.S., Frigo, E.P., 2012. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio São José, Cascavel, PR. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia* 5, 7-12. Disponível: <https://doi.org/10.5777/paet.v5i2.1659>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- Sardinha, D.S., Godoy, L.H., 2016. O crescimento urbano e o impacto nos recursos hídricos superficiais de Uberaba (MG). *Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades* 4, 1-20.

- Disponível:
<http://dx.doi.org/10.17271/2318847242320161303>. Acesso em: 17 out. 2018.
- Sartori, A., Lombardi Neto, F., Genovez, A.M., 2005. 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. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10, 5-18. Disponível:
<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n4.p5-18>. Acesso em: 07 out. 2018.
- Silva, P. O., Cabral, J.J.S.P., 2014. 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* 19, 7-18. Disponível:
<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v19n2.p7-18>. Acesso em: 21 jan. 2019.
- Silveira, A.L.L., 2005. Desempenho de fórmulas de tempo de concentração em bacias urbanas e rurais. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 10, 5-23. Disponível:
<http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v10n1.p5-29>. Acesso em: 08 out. 2018.
- Sousa, R.E.S., Gonçalves, G.F.G., 2018. Um estudo sobre os impactos decorrentes de inundações no município de Belo Horizonte. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental* 7, 591-605. Disponível:
<http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v7e32018591-605>. Acesso em: 17 jan. 2019.
- Souza, D.O., Lino, J.F.L., Bernardes, T., Sato, E.N., Firmino, M.B.M., 2017. Padrões meteorológicos e morfológicos associados à eventos de inundação na bacia do Rio Uruguai: Estudo de caso para o município de Uruguaiana-RS. *Revista Brasileira de Cartografia* 69, 621-633.
- Tasca, F.A., Finotti, A.R., Pompêo, C.A., Goerl, R.F., 2017. O papel da drenagem urbana na prevenção de desastres hidrológicos na bacia hidrográfica do Rio Itajaí Açu. *Revista Brasileira de Cartografia* 69, 129-142.
- Tucci, C.E.M., 2012. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*, 4 ed. UFRGS/ABRH, Porto Alegre.
- USACE. United States Army Corps of Engineers, 2016. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: User's Manual. Version 4.2*. Hydrologic Engineering Center– HEC, Davis, California, EUA.
- Wu, J., Yang, R., Song, J., 2018. Effectiveness of low-impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: a case study in Shenzhen, China. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 18, 2525-2536. Disponível: <https://doi.org/10.5194/nhess-18-2525-2018>. Acesso em: 22 jan. 2019.