A MODELAGEM HIDROLÓGICA COMO INSTRUMENTAL PARA A RESILIÊNCIA URBANA: O CASO DA BACIA DO RIBEIRÃO LAGEADO, SÃO PAULO/ SP[1]

Luciano Abbamonte da Silva (1); Ana Paula Koury (2)
(1) Doutor em arquitetura e urbanismo, lucianoabbamonte.silva@mackenzie.br, Universidade Presbiteriana Mackenzie
(2) Doutora em arquitetura e urbanismo, ana.koury@saojudas.br, Universidade São Judas Tadeu

RESUMO
Este artigo aborda o problema das inundações, alagamentos e deslizamentos de terra na bacia do Ribeirão Lageado, entendendo esses eventos extremos de uma perspectiva teórica da vulnerabilidade socioambiental, da construção social do risco, e da resiliência urbana. Parte da hipótese de que a construção de pequenos reservatórios paralelos localizados à montante dos pontos críticos das ocorrências de eventos extremos mitigariam consideravelmente a sua gravidade e intensidade, indicando assim uma possibilidade factível de adaptação que deve ser levada em consideração pelas autoridades competentes quando do planejamento de futuras ações de drenagem urbana na região. O método utilizado foi o da convolução do Hidrograma Unitário SCS de montante à jusante da bacia, sendo definidos doze pontos de medição para uma verificação quantitativa do amortecimento da vazão de pico em dois cenários, sem e com reservatório. Foi proposto um procedimento inovador de divisão da bacia, o qual possibilitou um cálculo detalhado para pontos de medição internos à mesma. Os resultados validaram a hipótese inicial, sendo observado um amortecimento entre 20% e 40% em seis pontos, e superior a 40% em cinco pontos, indicando uma mitigação potencial significativa, assim como uma adaptação desejável em direção a uma resiliência urbana orientada para áreas ambientalmente frágeis.

Palavras-chave: drenagem urbana, risco a inundações, reservatórios paralelos, saneamento ambiental, ODS 11.

ABSTRACT
This paper addresses the problem of storm waters, flooding and landslides in the Ribeirão Lageado watershed, understanding these extreme events from a theoretical perspective of socio-environmental vulnerability, the social construction of risk, and urban resilience. It starts from the hypothesis that the construction of small parallel reservoirs located upstream of the critical points of the occurrence of extreme events would considerably mitigate their severity and intensity, thus indicating a feasible possibility of adaptation that must be taken into account by the competent authorities when planning future urban drainage actions in the region. The method used was the convolution of the SCS Unitary Hydrograph from upstream to downstream of the watershed, with twelve measurement points being defined for a quantitative verification of peak flow damping in two scenarios, without and with reservoirs. An innovative procedure for dividing the watershed was proposed, which allowed a detailed calculation for internal measurement points. The results validated the initial hypothesis, with a damping between 20% and 40% being observed in six points, and greater than 40% in five points, indicating a significant potential mitigation, as well as a desirable adaptation towards an urban resilience oriented to areas environmentally fragile.

Keywords: urban drainage, risk of flooding, parallel reservoirs, environmental sanitation, SDG 11.

[1] Este trabalho integra as atividades da Rede de pesquisa CIAM Clima, coordenada pelo prof. Dr. Renato Anelli/ Grupo de Trabalho 01 – GT01, coordenado por Ana Paula Koury e Afonso Celso de Castro Vanoni. CNPq Processo: 409032/2021-2. Mack Pesquisa Projeto nº 221074 MACK – 0008793.

1. INTRODUÇÃO

Na ótica dos estudos urbanos, as bacias hidrográficas constituem um tema complexo e multifacetado, em função da multiplicidade de escalas em que podem ser observadas no território (SCHUTZER, 2012; AMÉRICO-PINHEIRO; BENINI, 2019). Basicamente, a bacia hidrográfica constitui um limite natural do relevo em relação ao ciclo hidrológico, delimitando a área efetiva de escoamento superficial das águas perenes – nascentes, córregos e rios – e transitórias – águas pluviais. Daí a sua importância estratégica, pois é desse condicionamento e delimitação que vai se organizar todo o gerenciamento dos recursos hídricos. Além disso, há também um processo multidimensional no qual, aos limites naturais das bacias, sobrepõem-se outros, de ordem político-administrativa, mas também físico-ambiental, com destaque para as implicações da mudança climática, conforme exposto pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima – IPCC. Nesse contexto, devemos considerar o rápido processo de urbanização de São Paulo, o qual implicou em altas taxas de impermeabilização das bacias hidrográficas, ocasionando um aumento da quantidade e velocidade de escoamento superficial (CANHOLI, 2005; TUCCI, 2006).

Tendo em vista essa perspectiva trans-escalar e multidimensional, discorramos brevemente sobre o caso de São Paulo. Para a escala do Estado, o Rio Tietê e o conjunto das suas bacias desempenham um papel estrutural na conformação do relevo, sendo que tal formação geográfica se mostrou privilegiada tanto em termos de quantidade quanto de possibilidade de geração de energia hidroelétrica, destacando-se assim como uma das riquezas da terra paulista (AB'SABER, 1956). Inversamente, na escala metropolitana, esse volume bruto potencial de água assume um caráter bastante diverso, que poderia ser denominado de problemática da terra paulista, a saber, o histórico de inundações, alagamentos e deslizamentos de terra que atingem, de maneira indiscriminada, diversas regiões da Macrometrópole Paulista (CANIL; LAMPIS; SANTOS, 2020).

Porém, não se trata apenas de desastres naturais, mas de uma determinação histórica que pode ser entendida de uma perspectiva da construção social do risco (BLAIKIE et al., 2004), uma vez que populações que habitam áreas ambientalmente frágeis são as que mais irão sofrer com os eventos extremos. Esse fato é bastante distinto recorrente nas extensas franjas e rincões periférico tanto do município quanto da região metropolitana de São Paulo, "a última a abolir a escravidão"[2]. Ocorre que as populações que habitam as áreas próximas aos cursos d'água são vulneráveis não só socialmente – possuindo escolaridade mais baixa, menor taxa de emprego formal e renda e maior concentração de crianças e jovens – mas também são vulneráveis ambientalmente – pois estão mais próximas aos riscos físicos (ALVES, 2006), como vetores de doenças de veiculação hídrica, por exemplo: Amebíase, Cólera, Leptospirose, Disenteria bacteriana, Hepatite A, Esquistossomose, Febre Tifoide, Ascaridíase, Dengue, Rotavírus, Toxoplasmose. Não à toa, são também populações que concentram altos contingentes de grupos étnicos pardos e negros[3], marcando assim uma presença miscigenada, mas também, e sobretudo, afrodescendente, a qual está amalgamada a um processo de diáspora que condicionou a formação do território paulista. São essas as "águas de homens pretos" (DA ROSA, 2021) que reclamam as desigualdades de uma estrutura econômica espoliativa (SINGER; JUSTO, 2017), em uma escala macro, e de uma segregação socioespacial que caracteriza uma estrutura de classes em uma escala intra-urbana (VILLAÇA, 2001).

Doravante, tendo em vista esse quadro problemático, esta pesquisa visa contribuir para a mitigação dos efeitos ocasionados pelo risco – socialmente construído – de desastres naturais, considerando que, para isso, é necessário projetar intervenções de drenagem urbana compensatória, adaptando assim o produto de uma urbanização acelerada que não teve um aporte adequado de provimento básico de infraestruturas desse tipo. Desse modo, a pesquisa busca fornecer novos instrumentais de resiliência urbana (MERROW; NEWELL; STULTS, 2016), estando em consonância com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas, em especial no que diz respeito à gestão sustentável da água e do saneamento, da busca por um habitat seguro, resiliente e sustentável, e em prol de uma tomada de ação consistente frente à mudança climática.

[2] Canção "Quanto vale o show", do grupo Racionais Mc's, Álbum "Cores &Valores" (2014).

[3] É o que revela o "Mapa das Desigualdades 2022", publicado pela Rede Nossa São Paulo. Disponível em: https://www.nossasaopaulo.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Mapa-da-Desigualdade-2022_Mapas.pdf. Acesso 23 jun 2023.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo é apresentar soluções compensatórias de drenagem urbana para a bacia do Ribeirão Lageado, a fim de diminuir fragilidades socioambientais aí observadas, demonstrando assim a eficiência de soluções compensatórias de drenagem urbana planejadas à montante das ocorrências relacionadas à inundações, alagamentos e deslizamentos de terra.

3. MÉTODO

A maior porção da bacia do Ribeirão Lageado localiza-se na Zona Leste do Município de São Paulo, sendo que a parte oriental das suas cabeceiras pertence ao município de Ferraz de Vasconcelos. Na porção paulistana, a bacia intersecta três subprefeituras: São Miguel, Itaim Paulista e Guaianazes (Figura 1). A bacia ocupa uma área de aproximadamente 11 km² e abriga cerca de 153 mil habitantes. Atualmente, 90% da área da bacia encontra-se impermeabilizada, sendo que 81% da bacia localiza-se no município de São Paulo e 19% em Ferraz de Vasconcelos. A maior parte da bacia encontra-se na região administrativa da Subprefeitura do Itaim Paulista, e parte nas Subprefeituras de Guaianazes e São Miguel (KOURY et al., 2021). Destaca-se que essas Subprefeituras concentram mais de 50% da população negra e parda em sua composição, taxas de emprego que correspondem a cerca de 12% daquelas encontradas nos bairros ricos da cidade e uma expectativa de vida cerca de 15 anos mais baixa.

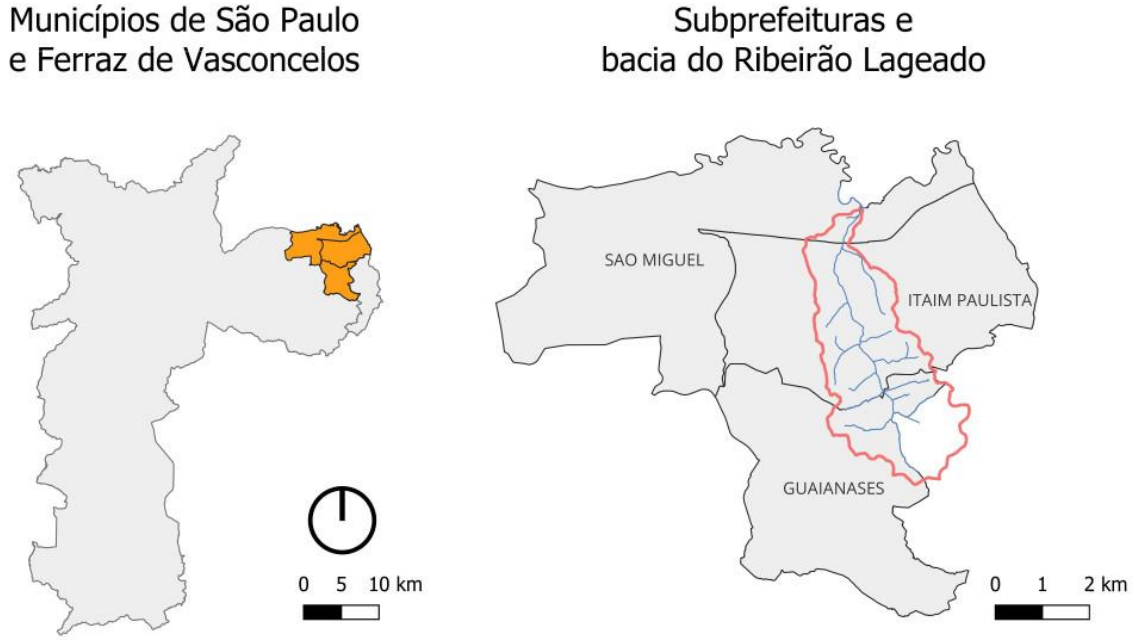

Figura 1 – Inserção urbana da bacia do Ribeirão Lageado (dos autores, 2023).

Inicialmente, buscou-se um entendimento sobre os efeitos efetivos que os eventos de chuvas extremas ocasionam nas áreas ambientalmente frágeis e nas populações que lá habitam. Trata-se de um problema composto, em que se somam os resíduos sólidos drenados, o risco geológico de solapamento das margens dos córregos, e a alta carga de poluentes dissolvidos, os quais se configuram como vetor de doenças (Figura 2). Procedeu-se assim com o mapeamento das ocorrências registradas de alagamentos, deslizamentos e inundações pela Defesa civil do Estado de São Paulo para a bacia do Ribeirão Lageado, entre 2013 e 2022[4] (Figura 3). Conforme esse histórico, podemos observar três tipos de situações: um número alto e concentrado de ocorrências na área de foz da bacia; um número expressivo de ocorrências ao longo do curso d'água principal; e um número considerável de ocorrências mesmo em pontos bastante à montante. Essa cartografia permitiu identificar os pontos críticos da bacia, os quais determinaram a localização dos doze pontos de medição da vazão, que serão apresentados à frente. O método que foi escolhido para essa medição é o do Hidrograma Unitário SCS – Soil Conservation Service (PINTO et al, 1976), e foi realizado um procedimento inovador de subdivisão da bacia, a fim de embasar um cálculo detalhado dos pontos internos.

[4] Não há uma referência direta entre as imagens da Figura 3, que são ilustrativas, e os pontos de ocorrência da Figura 4. Porém, são situações perfeitamente factíveis, uma em relação à outra.

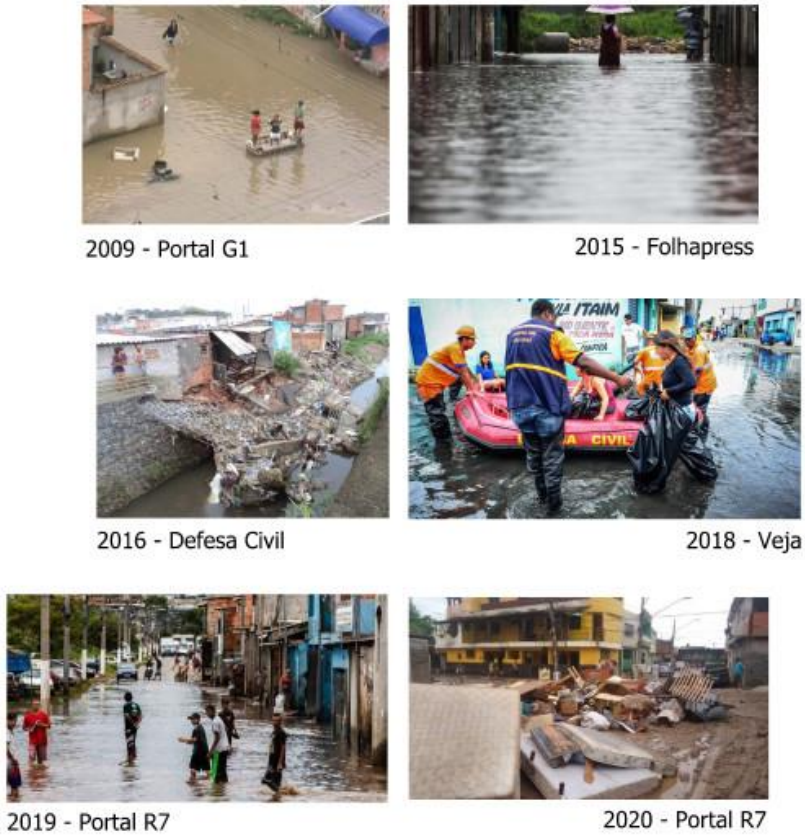

Figura 2 – Ilustrando o problema das inundações, alagamentos e deslizamentos de terra (acervo dos autores, 2023).

Foi realizado então o procedimento metodológico de discretização espacial, que consistiu propriamente na subdivisão da bacia, a qual se deu em função da identificação dos principais talvegues e linhas de cumeada. Destaca-se que a maneira que foi realizada esse procedimento foi desenvolvida diretamente pelos autores, e se deu em função do modo de inserção de dados do programa de computador que foi utilizado, não tendo sido referenciada em pesquisas anteriores. Isso demonstra a lacuna que ainda há nesse campo de conhecimento, sendo ao mesmo tempo uma área de pesquisa emergente e pouco explorada. Doravante, destaca-se o caráter inovador do desenho resultante (Figura 4), que resultou numa classificação das sub-bacias em quatro categorias:

Bacias de montante, localizadas no 'bojo' superior da bacia maior do Lageado, e que possuem, nos seus pontos de foz, áreas factíveis para a construção de pequenos reservatórios 'off line';

Bacias de foz são aquelas localizadas à jusante das bacias à montante, bem como a sub-bacia final do sistema, localizada no Jardim Helena, onde foi registrado o maior número de ocorrências;

Bacias de contribuição direta são aquelas cuja foz desagua diretamente no canal, inclusas as bacias de foz do 'bojo' superior da bacia;

Bacias de recepção/ canal são aquelas que configuram propriamente uma área envoltória ao talvegue principal, onde também houve um número considerável de ocorrências.

Foram propostos 8 reservatórios secos (Figura 5), totalizando um volume de retenção de 62.200,00 m³. Como estudo preliminar, limitou-se o problema à volumetria desses reservatórios, de modo que deve ser observada a referência à publicação "Projeto técnico: reservatórios de detenção" (MOTA et al, 2013).

A cartografia da bacia possibilitou a coleta dos dados de entrada a serem inseridos na modelagem hidrológica propriamente (Tabela 1), que são os seguintes: área da bacia, em quilômetros quadrados; área e altura dos reservatórios; comprimento do Canal – talvegue - em metros; diferença de altitude do talvegue, em metros; curve-number, ou coeficiente de deflúvio (adimensional).

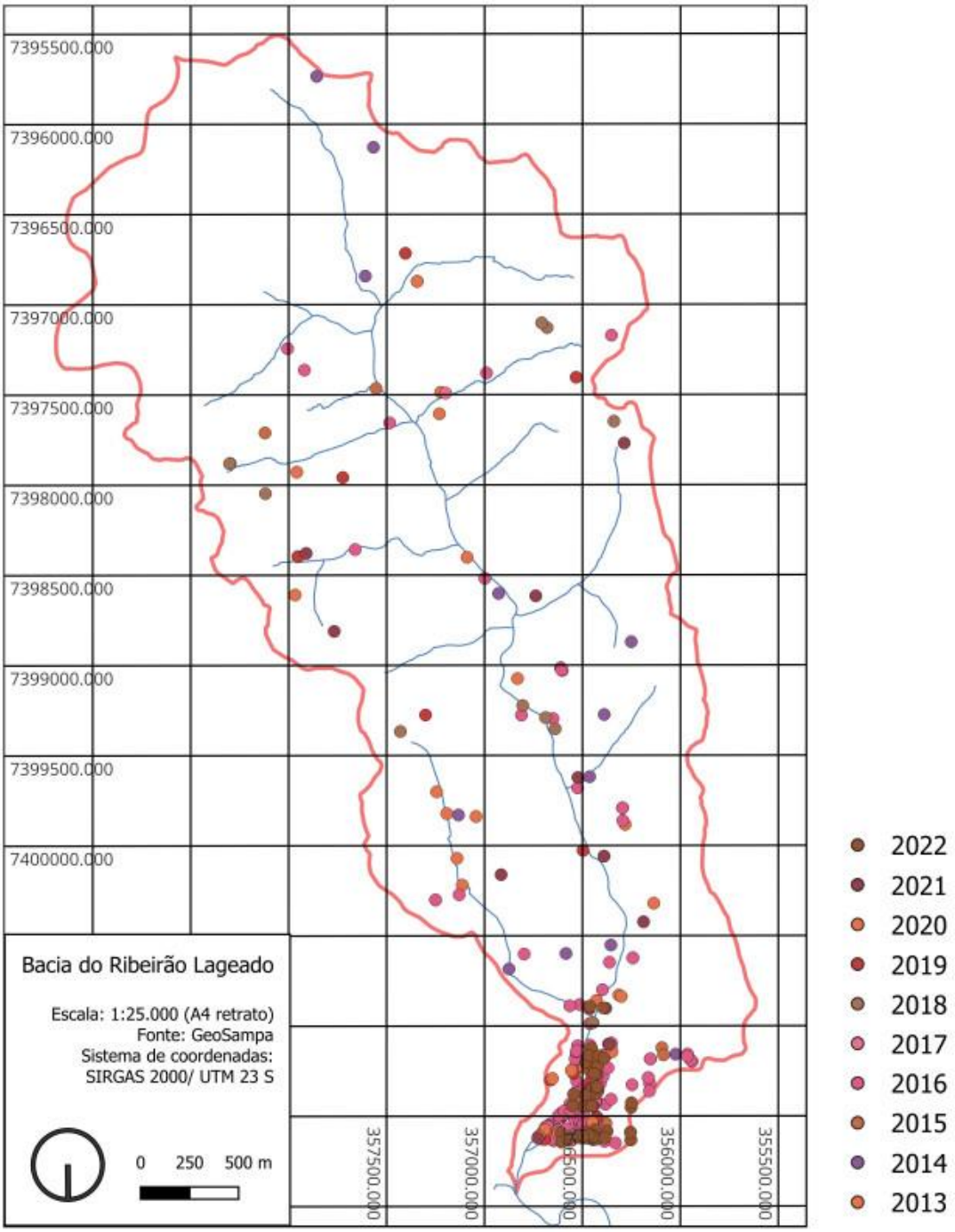

Figura 3 – Ocorrências de inundações, alagamentos e deslizamentos de terra na bacia do Lageado (elaborado pelos autores, 2023).

Também foram definidos os seguintes parâmetros para o cálculo: duração da chuva de 360 minutos; a curva de Intensidade, Duração e Frequência utilizada é a do Centro Tecnológico de Hidráulica de São Paulo; o tempo de retorno é 25 anos; o coeficiente de amortecimento é de 0,25 (adimensional). O intervalo de discretização temporal utilizado foi de 30 minutos, sendo que, para as bacias que excedem esse intervalo, foi utilizada a equação de onda cinemática para cálculo do tempo de concentração. Essa equação conceitual foi escolhida em detrimento de outras, empíricas, em função de se tratar de uma bacia urbanizada sem dados de medição relevantes para pontos intermediários.

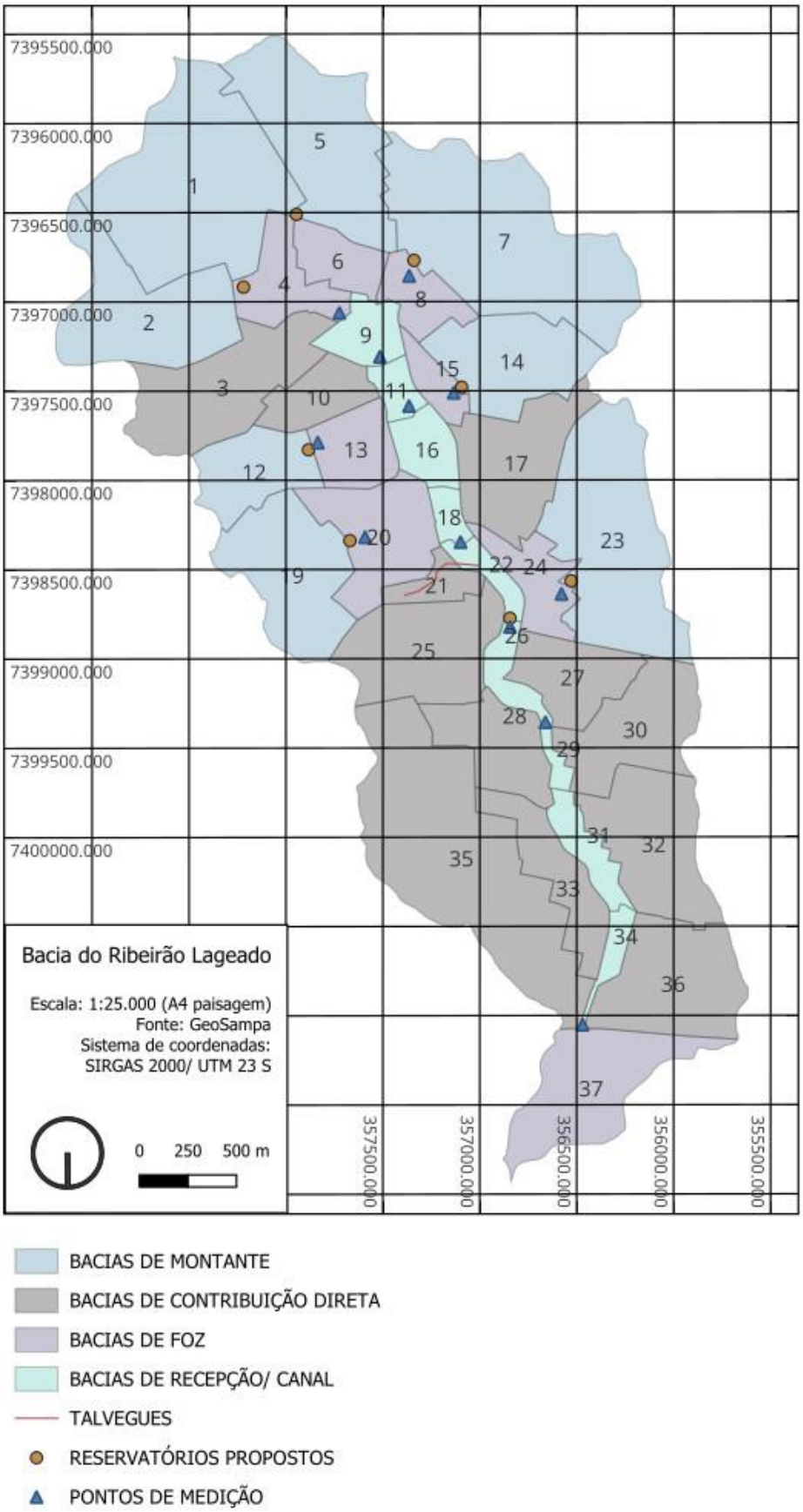

Figura 4 – Divisão da bacia do Lageado (elaborado pelos autores, 2023).



Figura 5 – Exemplo de reservatório seco (MOTA, 2013).

Tabela 1 – Dados de entrada para o cálculo do modelo hidrológico.

BACIA	TIPO	AREA KM2	COMP. M	ALT. I.	ALT. F.	ALT. T.	RESERV. M2	RESERV. H.	CN
1	M	0,85	1.144	810	770	40	5.500	2	79
2	M	0,49	862	810	770	40			79
3	M	0,45	1.102	810	770	40			85
4	F	0,19	609	770	765	5			80
5	M	0,57	1.077	820	780	40	10.000	2	82
6	F	0,14	476	780	755	25			84
7	M	0,90	1.163	810	760	50	5.500	2	82
8	F	0,14	310	760	755	5			84
9	R	0,12	528	760	755	5			83
10	C	0,16	480	780	755	25			77
11	R	0,07	388	755	750	5			78
12	M	0,24	600	805	765	40	2.000	2	84
13	F	0,17	553	765	750	15			85
14	M	0,36	978	810	760	50	3.300	2	85
15	F	0,08	307	760	750	10			77
16	R	0,12	432	750	747	3			69
17	C	0,38	778	800	747	53			72
18	R	0,05	363	747	745	2			90
19	M	0,43	1.298	805	755	50	1.200	2	82
20	F	0,33	587	755	745	10			87
21	C	0,09	461	765	743	22			88
22	R	0,07	518	745	743	2			89
23	M	0,69	1.449	810	750	60	200	3	89
24	F	0,17	320	750	745	5			88
25	C	0,42	763	800	745	55	3.300	2	85
26	R	0,08	740	745	740	5			82
27	C	0,23	527	775	740	35			85
28	C	0,25	666	780	738	42			84
29	R	0,03	385	740	738	2			88
30	C	0,34	949	765	738	27			86
31	R	0,11	718	738	735	3			85
32	C	0,41	776	775	735	40			88
33	C	0,24	754	755	734	21			87
34	R	0,05	737	735	733	2			83
35	C	0,99	2.244	790	733	57			83
36	C	0,42	776	753	733	20			83
37	F	0,41	970	733	730	3			85

Em seguida, foi realizado o procedimento metodológico de representação computacional, sendo realizado o cálculo de convolução do hidrograma de montante à jusante da bacia e a simulação de dois cenários, a bacia sem e com reservatórios. Para isso, foi então construída a topologia do sistema (Figura 6), utilizando-se o programa ABC6 – Análise de Bacias Complexas, desenvolvido pelo Laboratório de Sistemas de Suporte a Decisões da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental.

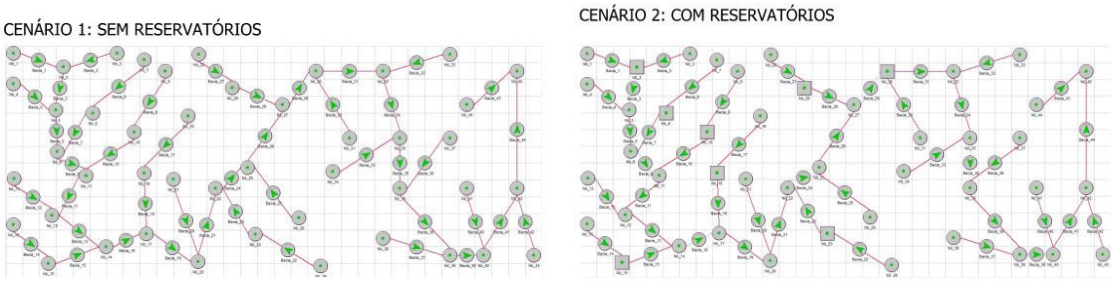

Figura 6 – Topologia do sistema no programa AB6 (elaborado pelos autores, 2023).

4. RESULTADOS

A construção da topologia do sistema permitiu a coleta dos dados de saída e o desenho comparativo dos hidrograma para os dois cenários propostos (Figura 7), demonstrando quantitativamente um amortecimento significativo da vazão de pico em um evento de chuva extrema (Tabela 2). Além disso, possibilitou uma verificação quantitativa do amortecimento da vazão de pico para os doze pontos de medição selecionados (Figura 8). Os resultados alcançados nesse estudo confirmam assim a hipótese de que pequenos reservatórios paralelos localizados nas sub-bacias à montante irão atenuar as ocorrências de alagamentos, deslizamentos e inundações tanto nos pontos intermediários quanto na sub-bacia de foz do Ribeirão Lageado.

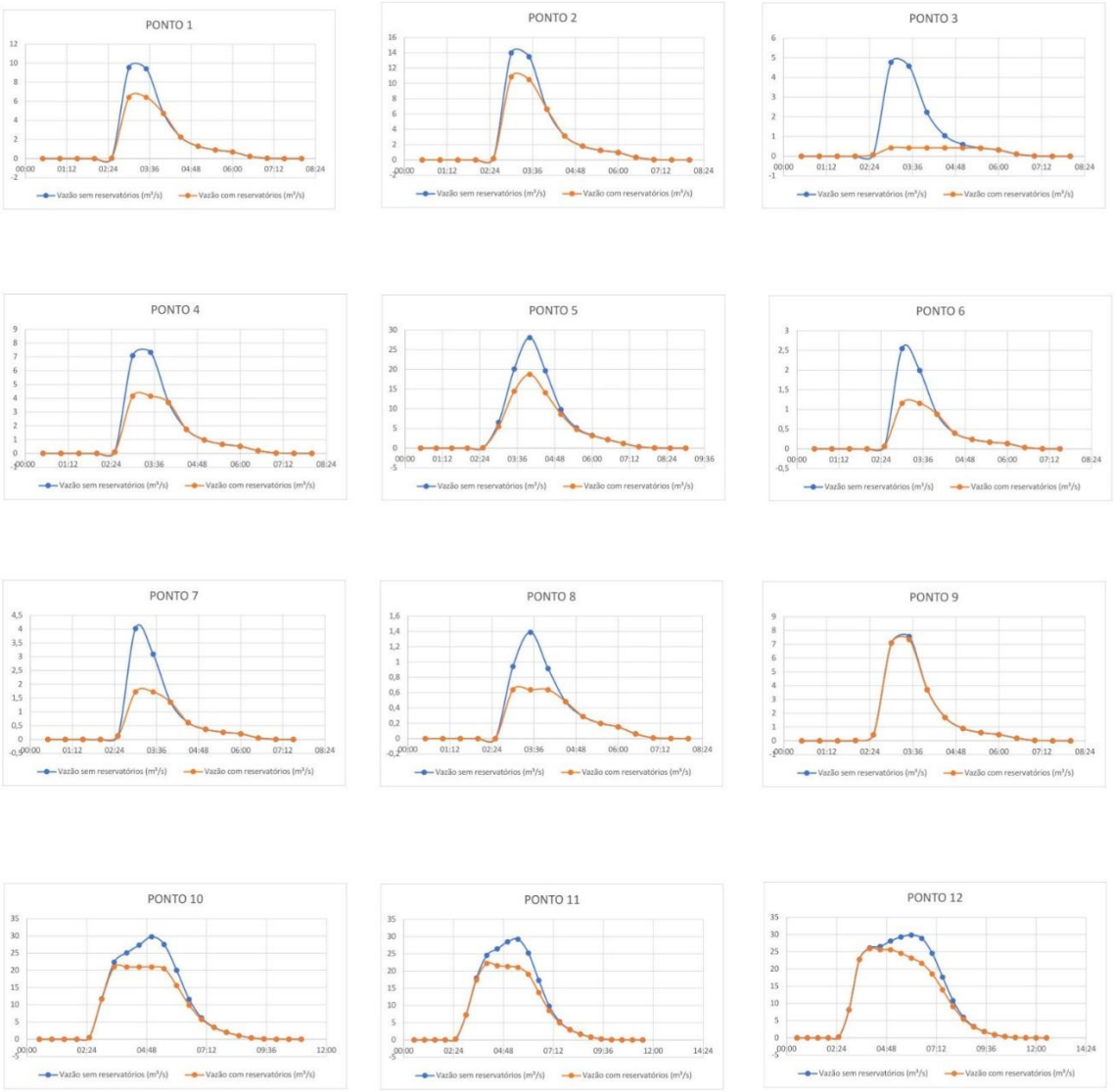

Figura 7 – Comparação entre os hidrogramas dos dois cenários para os doze pontos de medição (elaborado pelos autores, 2023).

Tabela 2 – Resultados do modelo hidrológico.

PONTO	Vazão de pico sem reservatórios (m³/s)	Vazão de pico com reservatórios (m³/s)	Redução percentual da vazão de pico (%)
1	9,552	6,423	32,76
2	13,979	10,85	22,38
3	4,768	0,427	91,04
4	7,332	4,158	43,29
5	28,088	18,739	33,28
6	2,547	1,158	54,53
7	4,024	1,726	57,11
8	1,39	0,638	54,10
9	7,564	7,342	2,93
10	29,74	20,973	29,48
11	29,235	21,052	27,99
12	29,846	23,168	22,37

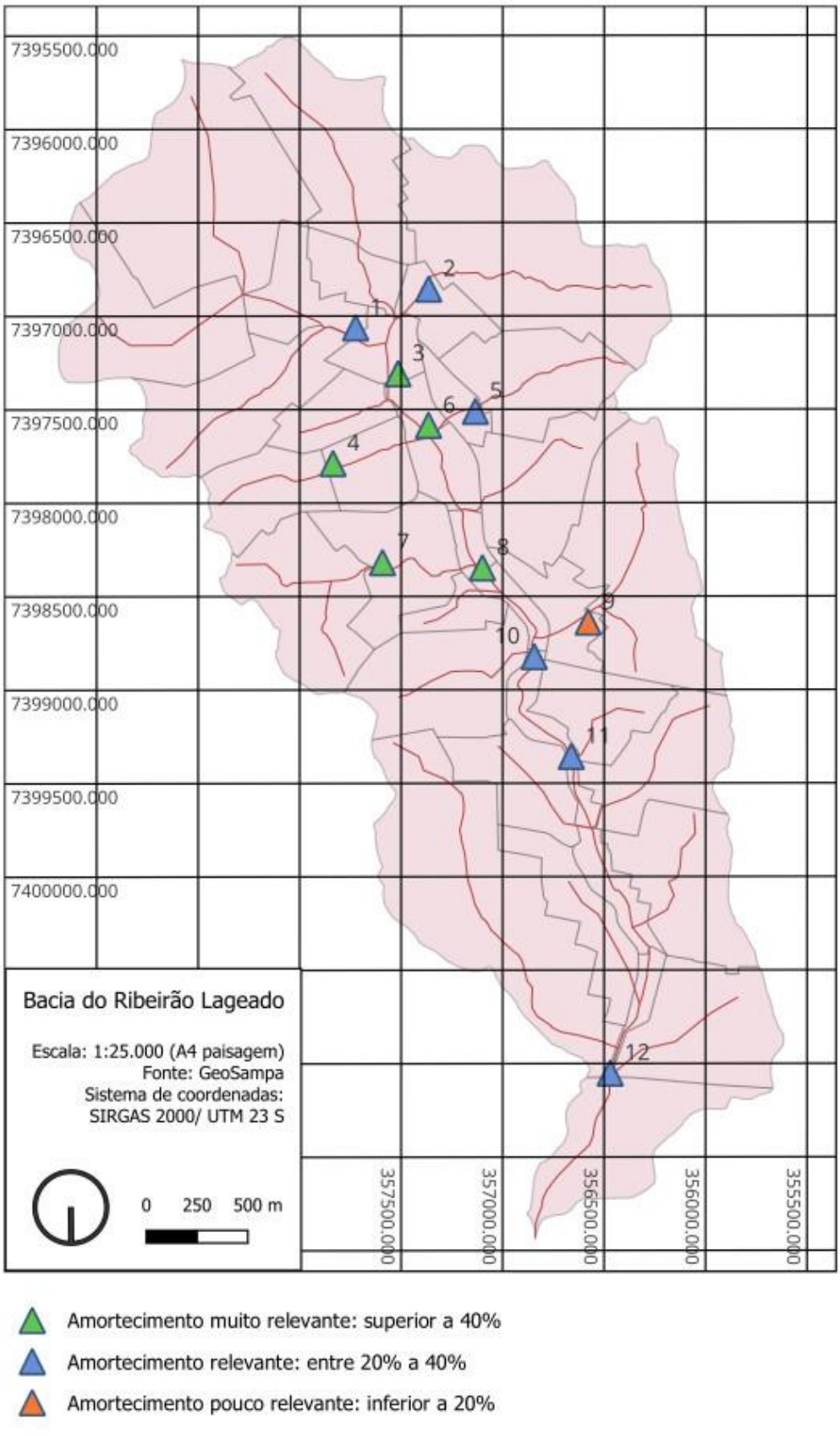

Figura 8 – Amortecimento do pico de vazão para os doze pontos de medição (elaborado pelos autores, 2023).

5. CONCLUSÕES

O estudo apresentou uma metodologia consistente e que pode ser replicada para outras bacias hidrográficas urbanizadas. Do mesmo modo, outras variações desse estudo podem ser realizadas na própria bacia do Ribeirão Lageado. O único reservatório que não apresentou um amortecimento relevante foi o menor proposto, localizado na foz da sub-bacia 23, com área de 200 metros quadrados. Por outro lado, o reservatório localizado na foz da sub-bacia 19, de 1200 metros quadrados, apresentou um amortecimento muito relevante. Esses dois dados indicam uma área intermediária mínima que será eficiente para sub-bacias dessa escala, a qual pode também ser estimada em um próximo estudo.

Os resultados dessa pesquisa foram apresentados diretamente às autoridades da Subprefeitura do Itaim Paulista, sendo feita a recomendação de que se leve esse estudo em consideração quando do planejamento de futuras ações de drenagem urbana que venham a ocorrer na região.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, Aziz Nacib. A Terra Paulista. Boletim Paulista de Geografia, nº 23, p. 5-38, 1956.

ALVES, Humberto. Vulnerabilidade socioambiental na metrópole paulistana: uma análise sociodemográfica das situações de sobreposição espacial de problemas e riscos sociais e ambientais. R. bras. Est. Pop., São Paulo, v. 23, n. 1, p. 43-59, jan./jun, 2006.

AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloís Pinê, BENINI, Sandra Medina. Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. Tupã: ANAP, 2019.

BLAIKIE, P.; BLAIKIE, P. M.; CANNON, T.; DAVIS, I.; WISNER, B.. At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters. Psychology Press, 2004.

CANIL, K.; LAMPIS, A.; SANTOS, K. L. D. Vulnerabilidade e a construção social do risco: uma contribuição para o planejamento na macrometrópole paulista. Cadernos Metrópole, v. 22, n. 48, p. 397-416, 2020.

CANHOLI, Aluísio Pardo. Drenagem Urbana e Controle de Enchentes. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.

DA ROSA, Allan. Águas de Homens Pretos. São Paulo: Veneta, 2021.

KOURY, A. P.; MARQUES FALCETTA, F. A.; KENJI YOSHIKAWA, N.; OLEGARIO FERNANDES, J.; SANCHES PIMENTEL, R.; CAMARGO FIRMINO, M. A.; HERCULANO CORREIA, P. H. Os desafios urbanos e ambientais da Microbacia do Lageado no Itaim Paulista. Journal of Urban Technology and Sustainability, [S. l.], v. 4, n. 1, p. e30, 2021.

MERROW, S.; NEWELL, J.; STULTS, M. Defining urban resilience: a review. In: Landscape and Urban Planning 147: 38-49, doi: 10.1016/j.landurbplan.2015.11.011, 2016.

MOTA, Erika (coord.). Projeto Técnico: reservatórios de detenção. São Paulo: Associação Brasileira de Cimento Portland – ABCP, Programa Soluções para Cidades, 2013. Disponível em: https://www.solucoesparacidades.com.br/wp-content/uploads/2013/09/AF_Reservatorios%20Deten_web.pdf acesso mar 2023.

PINTO, N.; HOLTZ, A.; MARTINS, J.; GOMIDE, F.. Hidrologia Básica. São Paulo: Edgard Blücher, 1976.

SCHUTZER, José Guilherme. Cidade e Meio Ambiente: a apropriação do relevo no desenho ambiental urbano. São Paulo: Editora Universidade de São Paulo, 2012.

SINGER, Paul; JUSTO, Marcelo. Urbanização e desenvolvimento. Belo Horizonte: Autêntica Editora, 2017.

TUCCI, Carlos E. M.. Água no Meio Urbano. In: Águas Doces no Brasil – Capital Ecológico, Uso e Conservação. p. 399-432, organizadores: REBOUÇAS, Aldo Cunha, BRAGA, Benedito e TUNDISI, José Galizia, 3 ª edição. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

VILLAÇA, Flávio. Espaço intra-urbano no Brasil. 2. ed. São Paulo: Studio Nobel: FAPESP: Lincoln Institute of Land Policy, 2001.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Ariel Ortiz Gomes, por compartilhar seus conhecimentos técnicos no seu canal do youtube, os quais possibilitaram a elaboração deste estudo.