

INUNDAÇÕES URBANAS: UM ESTUDO DE CASO EM SWMM NA LAGOA DO SAPO EM BATAYPORÃ - MS

Data de aceite: 01/07/2024

Guilherme Mendes dos Santos

Schettini Engenharia LTDA

Ricardo Schettini Figueiredo

Schettini Engenharia LTDA

Lucas Mariano Medeiros

Schettini Engenharia LTDA

RESUMO: Nos últimos anos a sociedade tem experienciado eventos hidrológicos extremos de precipitação mais intensos e recorrentes. A área de estudo apresenta em seu passado e presente diversos eventos de inundações. O evento pluviométrico ocorrido em 12 de outubro de 2022, apresentou altura de 120mm, deflagrando um cenário de inundação que causou significativa comoção por parte dos munícipes. A Lagoa do Sapo apresenta um relevo suscetível a ocorrência desta inundação, por esta localizada em uma depressão topográfica, onde todo escoamento superficial é direcionado para o local da lagoa. O presente estudo visa explorar as extensões das inundações na cidade através de 5 cenários de precipitação, buscando fornecer aos tomadores de decisão informações pertinentes para tratativa da

problemática na cidade. O *software* adotado foi o *Storm Water Management Modelo* (SWMM), a calibração do modelo foi pautada em uma metodologia simplificada por meio de duas abordagens, a primeira consiste na comparação da mancha de inundação simulada com os registros fotográficos do evento e a segunda em um próprio parâmetro do programa, erro de continuidade, esta abordagem foi adotada mediante a inexistência de dados coletados durante o evento de inundação. Com o modelo calibrado, foi possível estimar a quantidade de residências afetadas e as manchas de inundações para os diferentes cenários. A partir dos resultados deste trabalho, conclui-se que a região da Lagoa do Sapo necessita de intervenções hidráulicas em seu sistema de drenagem que visem retardar o escoamento superficial e que ampliem capacidade do extravasor existente.

PALAVRAS-CHAVE: Inundação urbana, simulação, drenagem urbana

ABSTRACT: In recent years, society has experienced increasingly intense and recurring hydrological events of heavy precipitation. The study area has a history and ongoing occurrence of various flood

events. The pluviometric event that took place on October 12, 2022, recorded a precipitation height of 120mm, triggering a flooding scenario that caused significant concern among the residents. The Lagoa do Sapó is in a topographical depression, making its terrain susceptible to such flooding, as all surface runoff is directed towards the lagoon. This study aims to explore the extent of flooding in the city through five precipitation scenarios, providing decision-makers with relevant information to address the issue in the city. The Storm Water Management Model (SWMM) software was utilized, and the model calibration was based on a simplified methodology employing two approaches. The first approach involved comparing the simulated flood extent with photographic records of the event, while the second approach utilized a program parameter, the continuity error, due to the lack of collected data during the flood event. With the calibrated model, it was possible to estimate the number of affected residences and the flood extents for different scenarios. Based on the results of this study, it is concluded that the Lagoa do Sapó region requires hydraulic interventions in its drainage system to delay surface runoff and enhance the capacity of the existing overflow outlets.

KEYWORDS: Urban flood, simulation, urban drainage.

INTRODUÇÃO

O manejo e a drenagem das águas pluviais fazem parte da infraestrutura do complexo organismo urbano das cidades contemporâneas, exercendo papel fundamental para harmonia da aglomeração humana, principalmente em grandes centros urbanos e no meio ambiente.

A crescente ocupação das bacias hidrográficas altera significativamente suas características, resultando em um tempo menor de concentração e aumentando o volume escoado. Por mais que, no meio acadêmico, já seja difundida uma abordagem sustentável a respeito da drenagem urbana, muitos projetos e planejamentos ainda tem convicções desatualizadas (TUCCI *et al.*, 2014).

A metodologia tradicional é respaldada na captação e no transporte de maneira rápida e eficiente para diminuir os agravantes das chuvas no âmbito local, repassando a jusante seus efeitos. Entretanto, devido a expansão urbana, diversas áreas passam a sofrer com a chegada massiva de volumes d'água. (PINHEIRO E FRANK, 2003; BOTELHO, 2017).

Neste sentido, as simulações de eventos históricos podem fornecer dados úteis para o manejo das águas (SHAKTI, KAMIMERA E MISUMI, 2020). Por meio do mapeamento das inundações, é possível criar modelos para compreender o desdobramento das enchentes, que por sua vez servirão de base para políticas públicas, planejamento em situações de emergência/evacuação e para estimar danos (KOBAYASHI *et al.*, 2019).

Assim, é possível zonear áreas de risco para melhor aplicar os recursos públicos em um planejamento (HORA E GOMES, 2009). De acordo com Tucci *et al.* (2014), mensurar futuras situações em diferentes momentos de urbanização, pode fornecer soluções no planejamento da ocupação urbana, antevendo e minimizando os problemas de inundações

futuras, evitando assim despendar grandes quantidade de investimentos em soluções tardias. Portanto, diversas cidades brasileiras tem aplicado o mapeamento de inundações (SOUZA, CRISPIM E FORMIGA, 2012; HIRATA *ET AL.*, 2013; GOERL, MICHEL E KOBIYAMA, 2017; SILVA, 2019).

De acordo com o Centro Universitário de Estudos e Pesquisas sobre Desastres da UFSC (CEPED UFSC) (2013), o território brasileiro apresentou uma tendência ao aumento dos desastres naturais, no período de 1991 a 2012. O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e o Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) (2018) apresentam que, no censo de 2010, o país contava com cerca de 8,2 milhões de pessoas vivendo em áreas de risco de enchentes ou deslizamentos.

Ponto que reforça os dados apresentados pela UNESCO e UN-Water (2020), que as inundações globais e eventos extremos de precipitação aumentaram em mais de 50% nesta década, e agora estão ocorrendo em uma taxa quatro vezes maior do que em 1980.

Portanto, eventos de inundação urbana tendem a crescer em escala e quantidade, apontando para um futuro em que eventos que antes seriam pouco impactantes passam a tornar-se deflagradores de inúmeras perdas financeiras e humanas, principalmente em regiões mais vulneráveis. Além disso, ainda existe uma certa carência de informações a respeito dos eventos, algo que dificulta uma abordagem mais precisa e efetiva dos gestores públicos e da comunidade científica, no Brasil.

Diversos autores têm apresentado uma abordagem comparativa entre os métodos computacionais, onde em uma determinada área de estudo são avaliadas as ocorrências de inundação, entretanto, nessas aplicações são utilizados muitas vezes *softwares* mais robustos, que por vezes exigem assinatura e necessitam de uma grande quantidade de dados de entrada. Por outro lado, o programa SWMM tem desempenhado papel importante na avaliação das inundações ocorridas em bacias urbanas.

Porém, ainda há poucos estudos e carência de procedimentos e protocolos que possibilitem uma avaliação mais dinâmica e simplificada dos eventos de inundações urbanas, que quando realizados dariam segurança aos tomadores de decisão usarem essas ferramentas, dados e informações disponíveis para gestão do evento.

Desta forma, a presente análise busca avaliar as inundações urbanas para diferentes cenários de precipitação, por meio de um estudo de caso feito em ambiente computacional, na cidade de Batayporã – MS.

METODOLOGIA

A área de estudo está localizada no município de Batayporã, situado ao sul da região Centro- Oeste do Brasil, a leste de Mato Grosso do Sul, na divisa de Paraná/São Paulo. Localiza-se na latitude de 22°32'45" Sul e longitude de 55°09'00" Oeste, distante 313 km da capital estadual (Campo Grande) e 1.182 km da capital federal (Brasília).

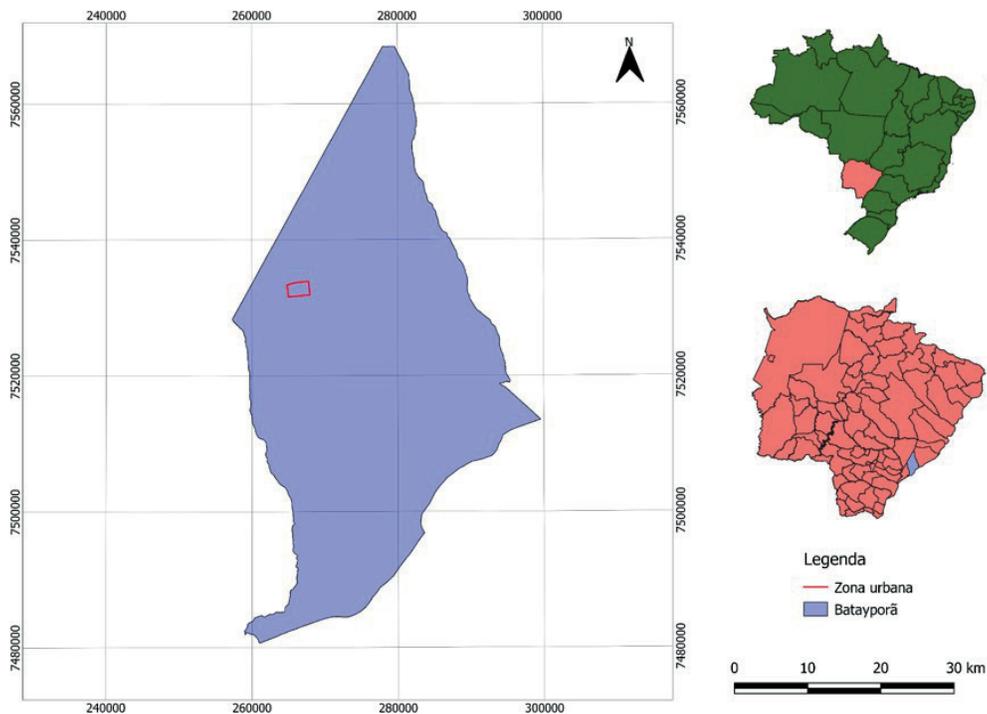


Figura 1 - Mapa de localização de Batayporã/MS

A lagoa é um importante ponto turístico da cidade, se apresentando como um marco administrativo e referência de local de lazer para a população. Por uma ótica hidrológica, a cidade está sob influência da bacia do Rio Pardo, que pertence a macrobacia do Rio Paraná, ladeada pelos córregos Escondido e Ribeirão Esperança.

O estudo de caso é correspondente ao evento ocorrido em 12 de outubro de 2022. Segundo o relatório disponibilizado Defesa Civil, por volta das 15:00 ocorreu uma precipitação que se desenvolveu por aproximadamente 40 minutos totalizando 120mm de precipitação acumulada. Esta altura foi suficiente para desencadear um intenso evento de inundação nas proximidades da Lagoa do Sapo, ocupando boa parte do centro e adentrando residências e comércios, causando grande comoção social e administrativa. A Figura 2 apresenta os registros fotográficos do evento ocorrido.



Figura 2 - Inundação ocorrida em 12 de outubro de 2022

Através do cadastro topográfico fornecido pela Schettini Engenharia Ltda, foi possível observar que a região apresenta relevo majoritariamente plano com leves presenças de suave a ondulado na região norte da cidade, sendo que, devido a perfil topográfico da região é possível observar que a cidade está localizada em uma depressão topográfica direcionado todo escoamento superficial tem como destino a lagoa.

A Lagoa do Sapo, possui uma área de contribuição de 7,77 km², a parcela ao norte da bacia (zona rural) apresenta cobertura de solo do tipo campos dedicados ao pasto e plantações em curvas de nível, já a zona urbana da cidade é marcada principalmente por residências unifamiliares sem presença de edifícios e com a maior parte das vias asfaltadas.

A cidade de Batayporã, está sobre majoritariamente Latossolo Vermelho – Escuro Alíco, de textura argilosa, com características geológicas da Formação Caiuá, (Ks), sobre rochas arenosas/quartzosas, alteradas para residuais ou coluvionares de areias fina a média, extremamente vulneráveis à erosão advindas de agentes hidrológicos (SEPLAN – MS).

Com relação a precipitação, foi adotado a equação IDF apresentada por Figueiredo e Miyasato (2013), onde o estudo apresenta equações para todas as cidades do estado de Mato Grosso do Sul, baseado nas formulações apresentada por Otto Pfafsteter, sendo que o local de estudo está presente na isozona 32, sob regime da Equação (1).

$$I = \frac{1.331,82 \times T_r^{0,142}}{(tc + 13)^{0,801}} \quad (1)$$

Sendo I a intensidade da chuva precipitada, Tr referente ao tempo de retorno e t é a duração do evento.

Pelo lado hidráulico do sistema de drenagem, a Lagoa do Sapo desempenha o papel de uma bacia de amortecimento, possuindo um extravasor em galeria de concreto com diâmetro de 1,20m, este dispositivo localizado a 1,50m do fundo da bacia, onde a captação é feita por uma tomada d'água, conduzindo o escoamento sobre a Avenida Antonia Spinosa Mustafá até a zona rural, desaguando em um pequeno canal de concreto por aproximadamente 450m até atingir um canal natural que tem seu fim em um pasto, escoando de maneira superficial até o Rio Samambaia.

Para as simulações hidrológicas e hidráulicas foi adotado o *software Storm Water Management Model (SWMM)*, da *United Enviromental Protection Agency (EPA)*, o programa trabalha com simulações em 1D, onde a precipitação informada é recebida pela bacia posteriormente conduzida até o nó, estes dispositivos recebem esse deflúvio e o volume é conduzido pelos condutos até o exutório, dentro do modelo o escoamento superficial é calculado pela diferença entre a precipitação, evaporação e infiltração, onde o volume excedente é transformado em escoamento superficial (Rossman, 2015). A Figura 3 apresenta um modelo básico de funcionamento da simulação.

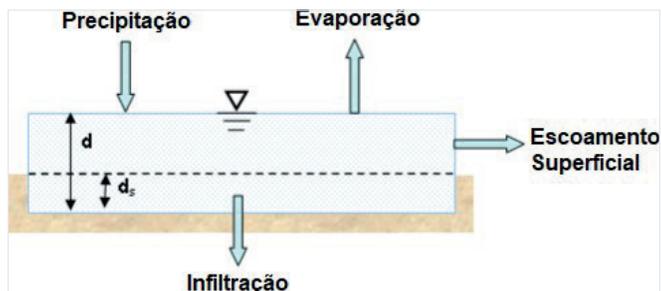


Figura 3 – Funcionamento básico da bacia hidrográfica no SWMM

Deste modo, o estudo propôs 5 cenários de simulação com intensidades distintas, sendo estes apresentados pelo Tabela 1.

Cenário	CN01	CN02	CN03	CN04	CN05
Precipitação (mm)	10	50	100	120	150

Tabela 1 - Cenários propostos

Para construção do modelo digital da bacia hidrográfica foram levantados os seguintes dados descritos na Tabela 2.

Elemento	Dado	Definição
Bacia	Área	Área da bacia
	Largura	Largura média da bacia
	Declividade	Declividade média da bacia em percentagem
	Área Imper.	Porcentagem de área impermeável na bacia
	n Imper.	Número de Manning referente a parcelaimpermeável da bacia
	n Perm.	Número de Manning referente a parcela permeável da bacia
Conduto	Forma	Formato da seção transversal
	Profundidade Máxima	Profundida máxima da seção transversal
	Comprimento	Comprimento do conduto entre os nós a jusante e amontante
	n Manning	Número de Manning atribuído ao conduto
	Offset de Entrada	Cota do contudo em relação ao radier a montante
	Offset de Saída	Cota do contudo em relação ao radier a jusante
Nó	Cota do radier	Cota do radier

Tabela 2 – Dados de entrada no SWMM

O coeficiente de Manning adotado para o estudo foi baseado em valores sugerido por Porto (2006) e adotados por Souza, Crispim e Formiga (2012) e Silva (2019) para estudos similares ao proposto. Os respectivos valores adotados podem ser vistos na Tabela 3.

Coeficiente de Manning			
Imper. Bacias	Perm. Bacias	Conduto Canalizado	Conduto Natural
0,012	0,150	0,014	0,025

Tabela 3 - Coeficiente de Manning utilizado.

Calibração do modelo

Na ocorrência do evento em estudo, não houve nem um tipo de aferição de cotas nas esquinas tomadas pela água ou qualquer outro tipo de levantamento que corroborasse para a calibração do modelo, por parte das entidades públicas de Batayporã.

Deste modo, se seguiu um processo de calibração mais simplificado, realizado em duas etapas.

O primeiro método considerou que o volume excedente encontrado pela SWMM, representa uma cota de inundação simulada, para determinar este valor foi cálculo o volume entre um plano (cota de inundação) e o MDE, determinado este valor topográfico é possível traçar uma linha de intersecção, encontrando assim a linha de inundação simulada. Esta linha de limite da inundação foi comparada com os registros fotográficos do evento.

Para realizar a calibração nesta etapa, foi adotado se alterar a altura de armazenamento impermeável, uma vez que os demais valores de dados de entrada não abrem espaço para manipulação sem descaracterizar significativamente a área de estudo.

A segunda abordagem considerou o erro de continuidade informado pelo SWMM, Rossman (2015), classifica valores -0,05% e -0,064%, para erro de escoamento e vazão respectivamente, como desprezíveis podendo se entender como valores excelentes ou muito bom. Por outro lado, Silva (2019) considerou que valores aceitáveis estão compreendidos até o limite de 10% de erro, deste modo, o presente estudo se pautou nestes dois intervalos para validar as simulações. O Tabela 4 apresenta os valores máximos de erro adotado.

Classificação	Erro de continuidade		Fonte bibliográfica
	Vazão	Escoamento Superficial	
Muito bom	±0,5%	±0,05%	(Rossman, 2015)
Aceitável	±10%	±10%	(Silva, 2019)

Tabela 4 - Classificação do erro de continuidade.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com a bacia hidrográfica caracterizada e determinado os demais dados necessários para realizar a simulação, foi construído o modelo no SWMM. A Tabela 5 apresenta os dados de entrada no modelo e a Figura 4 apresenta a bacia hidrográfica da área de estudo.

Bacia	Área (ha)	L (m)	l (m/m)	%Imp	SCS CN	n-Imp	n-Per
1	95,944	921,6	0,011	72,53%	89,25	0,011	0,025
2	20,844	204,2	0,010	76,90%	89,69	0,011	0,025
3	11,796	107,4	0,009	69,78%	88,98	0,011	0,025
4	9,11	83,9	0,008	82,66%	90,27	0,011	0,025
5	5,96	58,6	0,008	66,28%	88,63	0,011	0,025
6	3,824	73,8	0,007	85,60%	90,56	0,011	0,025
7	8,269	74,2	0,008	52,96%	87,30	0,011	0,025
8	2,168	40,9	0,005	92,17%	91,22	0,011	0,025
9	20,535	173,6	0,007	49,71%	86,97	0,011	0,025
10	1,519	14	0,005	95,00%	91,50	0,011	0,025
11	0,613	41	0,002	91,80%	91,18	0,011	0,025
12	0,623	39,3	0,010	91,94%	91,19	0,011	0,025
13	0,526	36,8	0,011	94,34%	91,43	0,011	0,025
14	0,614	39,6	0,005	80,65%	90,06	0,011	0,025
15	0,599	38,7	0,005	95,00%	91,50	0,011	0,025
16	52,968	365,3	0,005	68,42%	88,84	0,011	0,025
17	1,317	24,9	0,003	89,57%	90,96	0,011	0,025
18	3,917	73	0,003	88,49%	90,85	0,011	0,025
19	3,663	69	0,004	85,79%	90,58	0,011	0,025

20	32,64	200,3	0,005	69,10%	88,91	0,011	0,025
21	30,338	183,3	0,007	69,13%	88,91	0,011	0,025
22	113,548	812,8	0,011	43,76%	86,38	0,011	0,025
23	2,145	37,8	0,005	92,52%	91,25	0,011	0,025
24	24,628	161,3	0,009	71,51%	89,15	0,011	0,025
25	266,357	964,8	0,009	32,38%	85,24	0,011	0,025
26	64,148	502,7	0,012	35,54%	85,55	0,011	0,025

Tabela 5 - Dados de entrada no SWMM

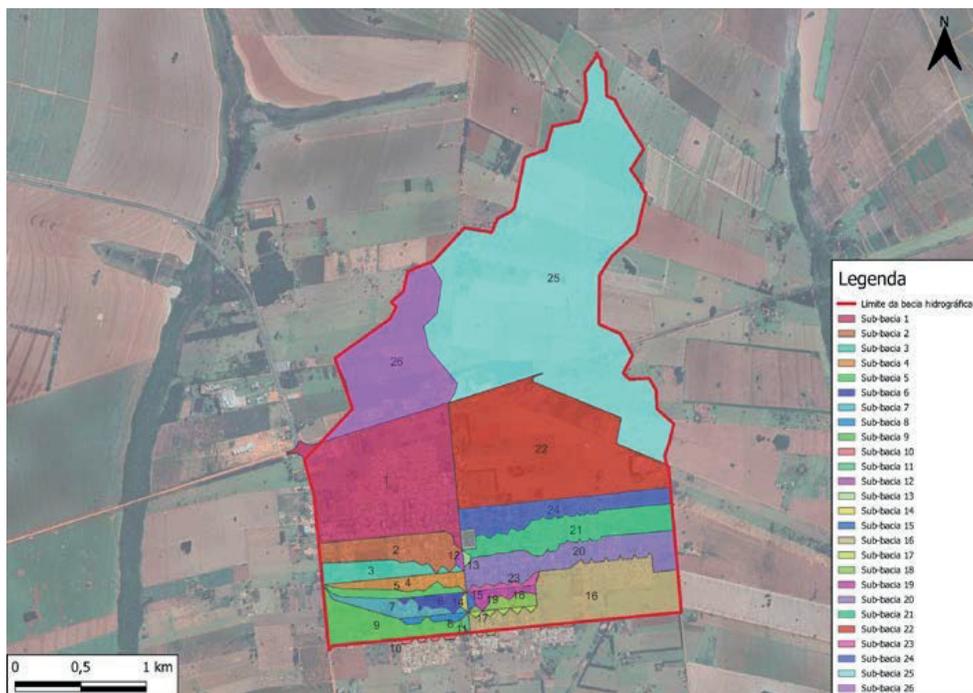


Figura 4 – Bacia hidrográfica da Lago do Sapo

Mediante a metodologia de calibração adotada, após sucessivas rodadas de ajustes no parâmetros de calibração proposto, foi definido que para melhor representar o evento ocorrido, deveria ser atribuído o valor de 0mm para a profundidade de armazenamento de área impermeável, isto se transcreveu na mancha de inundação observada na Figura 5.



Figura 5 - Mancha de inundação para calibração do sistema

Com a calibração realizada, foram feitas as simulações para os demais cenários, sendo que o CN04, apresentou pico de inundação de 64.610,31m³, apontando que a lâmina d'água no evento chegou à cota 316,330m. A Figura 6 apresenta o volume e cota obtido para os cenários de simulação.

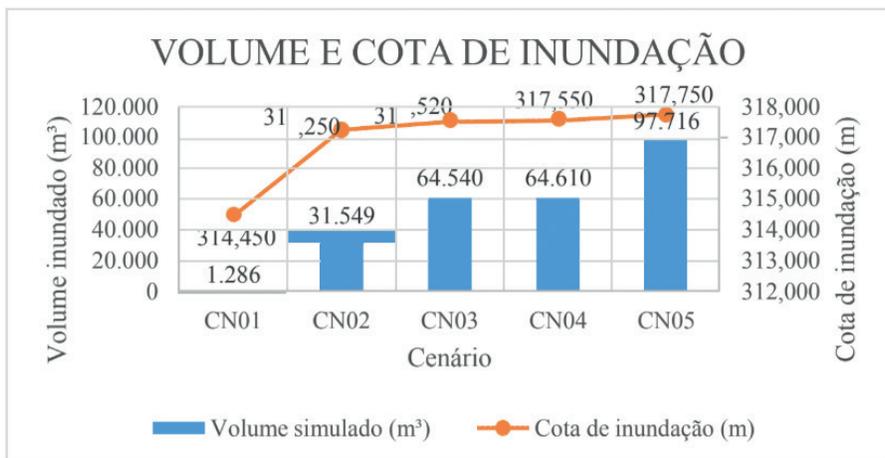


Figura 6 – Relação volume e cota de inundação

Estas cotas representaram as manchas de inundações expostas na Figura 7, onde se observa que a precipitação do CN01 não apresenta capacidade verter sobre a crista da lagoa de maneira significativa, por outro lado eventos superiores, como o de 50mm, apresentam lâmina d'água de inundação suficiente para atingir residências e comércios nas imediações da Lagoa do Sapo.

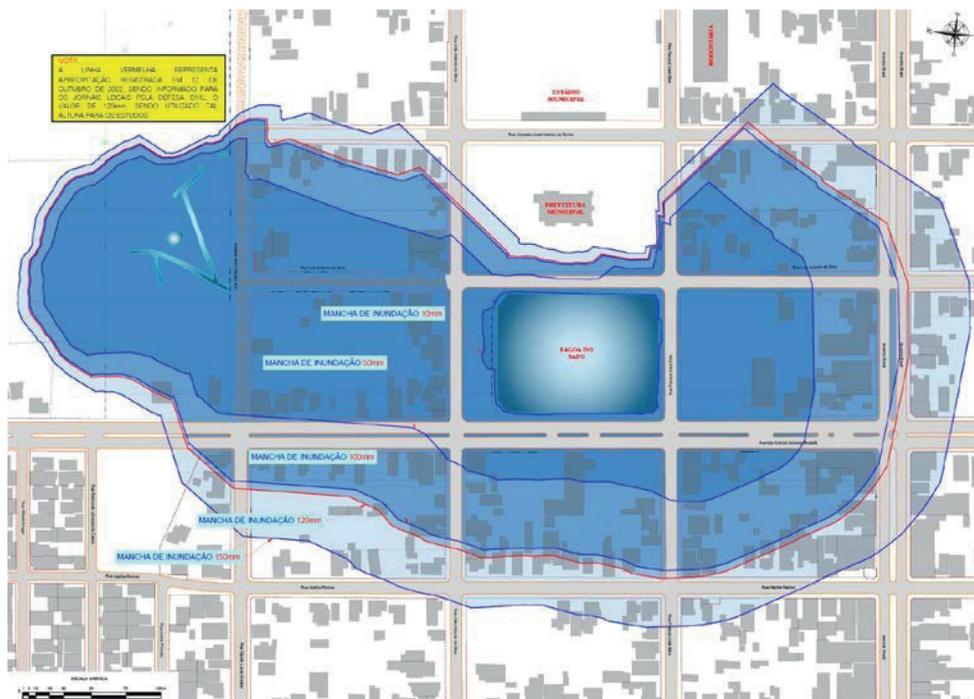


Figura 7 – Mancha de inundação para os cenários proposto

De posse das manchas de inundações, foi contabilizado o número de residências potencialmente afetadas para cada um dos cenários propostos, sendo que, para o evento ocorrido (CN04), estimasse que foram atingidas 97 residências. Até o momento da realização do estudo, não há informações de fontes públicas ou jornalísticas do número exato de pessoas ou residências afetadas na chuva ocorrida em 12 de outubro de 2020. O Tabela 6 apresenta a contabilização das residências afetadas para cada um dos cenários proposto.

Cenário	Área inundada (ha)	Volume inundado (m³)	Residências afetadas
CN01	1,05	5.416,83	0
CN02	8,69	31.548,56	45
CN03	13,75	64.540,10	91
CN04	14,36	64.610,31	97
CN05	18,50	97.716,49	143

Tabela 6 – Áreas e volumes inundados para os cenários propostos.

Dentre as possibilidades de intervenção propostas para solução da problemática está a ampliação do sistema de vertimento da lagoa e a construção de 4 bacia de amortecimento, que visam captar o escoamento superficial gerado pela porção norte da cidade para amortecer o pico de vazão direcionado a lagoa.

O sistema de vertimento proposto é composto por uma tomada d'água no mesmo nível topográfica do vertedouro existente com diâmetro de 1,50m em PEAD, por outro lado, as bacias de amortecimento, com locais definidos junto a Prefeitura Municipal de Batayporã, devem possuir aproximadamente 19.300,00m³ de capacidade de armazenamento total. Sendo apresentado pela Figura 8 a influência destes dispositivos na vazão de transbordamento da Lagoa do Sapo para o cenários mais crítico investigado.



Figura 8 - Vazão de inundação para precipitação de 150mm

Portanto, com a implementação do sistema proposto o pico de vazão de transbordamento da Lagoa do Sapo, que ocorre em uma hora e vinte minutos após o início da precipitação, onde este valor seria atenuado de 2.705,33m³/s para 535,34m³/s.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados do estudo realizado, foi possível concluir que as inundações na Lagoa do Sapo tendem a aumentar seu impacto em decorrência do aumento da precipitação, atingindo diversas residências e comércios na proximidade do local.

Deve-se ressaltar que mediante aos constantes eventos de precipitação que deflagram cenários similares ao ocorrido, se faz necessário o planejamento de intervenções hidráulicas no sistema de drenagem. Onde, a solução proposta apresenta um risco um risco residual de inundação, mas que em comum acordo com a Prefeitura de Batayporã é aceitável devido as questões orçamentárias para solução da problemática.

Estudo futuros de inundações na região devem se debruçar sobre soluções complementares de medidas mitigadores em escala menores como micro armazenamento nos lotes e adoção de *Low Impact Development* (LIDs), que não foram escopo do presente estudo.

REFERÊNCIAS

BOTELHO, M. H. C. (2017) *Águas de Chuva: Engenharia das águas Pluviais nas Cidades*. 4o ed. Blucher.

CEPED UFSC. Atlas Brasileiro de Desastres Naturais 1991 a 2012. (2013). *Centro Universitário de Estudos e Pesquisas Sobre Desastres, Universidade Federal de Santa Catalina*, pp. 126.

FIGUEIREDO, R. S.; MIYASATO, R. O. (2013). *Chuvas no Mato Grosso do Sul: Equação de intensidade, duração e frequência*, Universidade de Guarulhos.

GOERL, R. F.; MICHEL, G. P.; KOBAYAMA, M. (2017). *Mapeamento de áreas susceptíveis a inundação com o modelo HAND e análise do seu desempenho em diferentes resoluções espaciais*. Revista Brasileira de Cartografia, v. 69, pp. 61–69.

HIRATA, E. *et al.* (2013). *Mapeamento dinâmico e colaborativo de alagamentos na cidade de São Paulo*. Boletim de Ciencias Geodesicas, v. 19, n. 4, pp. 602–623.

HORA, S. B. DA; GOMES, R. L. (2009). *Mapeamento e avaliação do risco a inundação do Rio Cachoeira em trecho da área urbana do Município de Itabuna/BA*. Sociedade & Natureza, v. 21, n. 2, pp. 57–75.

KOBAYASHI, K. *et al.* (2019). *Catalogue of Hydrologic Analysis for Asia and the Pacific I Volume 1 Flood Hazard Mapping*. v. 1, pp. 106.

PINHEIRO, A.; FRANK, B. (2003). *Enchentes na Bacia do Rio Itajaí: 20 anos de experiências*. Blumenau: Edifurb.

PORTO, R.M. (1998). *Hidráulica Básica*. EESC/USP São Carlos- SP, 273.

SHAKTI, P. C.; KAMIMERA, H.; MISUMI, R. (2020). *Inundation analysis of the oda river Basin in Japan during the flood event of 6-7 july 2018 utilizing local and global hydrographic data*. Water (Switzerland), v. 12, n. 4.

SILVA, J. F. F. (2019). *Alternativas para controle de alagamentos urbanos utilizando telhados verdes e pavimentos permeáveis em um bairro da cidade do Recife*. [s.l.] Universidade Federal de Pernambuco.

SOUZA, R. M.; CRISPIM, D. C.; FORMIGA, K. (2012). *Estudo comparativo entre os modelos SWMM e HEC-HMS para simulação de escoamento superficial – caso de estudo bacia do Córrego Samambaia*. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 5, n. 2, pp. 1–11.

TUCCI, C. E. M. *et al.* (2014). *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4o ed ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS/ABRH.

UNESCO; UN-WATER. (2020). *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. Paris.

UNDRR. (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction*. Geneva, Switzerland.