

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

TRÂNSITO DE CHEIAS E GALGAMENTO: ESTUDO DE CASO DA BARRAGEM DA LAGOA DO NADO EM BELO HORIZONTE/MG

Daniel de Abreu Henriques¹ ; Lúcio Flávio de Souza Villar²

Abstract: This study presents a case analysis of the failure of the Lagoa do Nado dam, located in Belo Horizonte, Brazil, which occurred on November 13, 2024, due to an intense rainfall event and the overtopping of the structure. It was found that the spillway was operating inadequately, with the improper placement of wooden boards used to retain flow. The analysis was conducted using the HEC-HMS computational environment, applying different methods to estimate the time of concentration, combined with the Soil Conservation Service (SCS) method for rainfall-runoff transformation. Subsequently, flood routing was performed using the Modified Puls Method, with all simulated scenarios resulting in overtopping, highlighting the spillway's undersizing and the structure's vulnerability to extreme events.

Resumo: Este trabalho apresenta um estudo de caso do rompimento da barragem da Lagoa do Nado, em Belo Horizonte/MG, ocorrido em 13 de novembro de 2024, devido a um evento intenso de precipitação e ao galgamento da estrutura. Foi constatado que o vertedouro teve operação inadequada, com colocação indevida de anteparos de madeira para retenção de vazões. A análise foi feita no ambiente computacional do HEC-HMS, utilizando diferentes modelos de estimativa do tempo de concentração, combinados com o método do *Soil Conservation Service* (SCS) na transformação chuva-vazão. Assim, foi feito o trânsito de cheias pelo Método de Puls Modificado, resultando no galgamento em todos os cenários simulados, evidenciando o subdimensionamento do vertedouro e a vulnerabilidade da estrutura diante de eventos extremos.

Palavras-Chave – Trânsito de cheias, Lagoa do Nado, barragem.

INTRODUÇÃO

As barragens possuem potenciais riscos e danos socioeconômicos e ambientais em seu entorno, embora sejam infraestruturas necessárias para uma gestão adequada dos recursos hídricos (ANA, 2024). Isso foi evidenciado com o evento de ruptura da barragem que era localizada no Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado, que rompeu diante de um intenso evento chuvoso, em 13 de novembro de 2024, com a ocorrência de um galgamento. Desde 2019, já era de conhecimento do poder público a necessidade de intervenções para atender a legislação vigente e adequar as condições de segurança, especialmente considerando que era uma estrutura antiga, construída em meados da década de 1940 (PBH, 2024). A barragem realizava o represamento de cursos d'água locais e formava a Lagoa do Nado, que era dedicada ao amortecimento de cheias e para fins paisagísticos.

O objetivo deste trabalho é retroanalisar a ruptura da barragem da Lagoa do Nado, aplicando conceitos hidrológicos e hidráulicos em modelagem numérica e computacional de precipitações e de

1) Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, danielabreu@gmail.com

2) Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte – MG, lvillar@etg.ufmg.br

amortecimento de vazões. Logo, objetiva-se a determinar as condições de segurança da estrutura, de acordo com a operação do vertedouro e do reservatório.

MÉTODOS E REFERENCIAL TEÓRICO

Estudo de caso: galgamento e ruptura da barragem da Lagoa do Nado

A Prefeitura de Belo Horizonte foi informada sobre a instalação de um processo de galgamento na barragem de terra homogênea da Lagoa do Nado, por volta das 16:00. Com a chegada da equipe técnica ao parque, foi constatada a ruptura e o esvaziamento total do reservatório, por volta das 17:00. O vertedouro da barragem, que havia sido readequado em 2022, era operado a partir da colocação de *stop logs* – anteparos de madeira com 30 cm de altura -, colocados na soleira do canal. No dia 31/10/2024, todas as tábuas foram retiradas, visando a rebaixar o nível de água (NA) durante a época de chuvas. Entretanto, após a ruptura, foi verificado que havia três níveis de *stop logs* instalados, sem registro dessa operação ou conhecimento pela Prefeitura. Logo, o desastre foi atribuído à obstrução do vertedouro e à redução de sua capacidade no amortecimento das vazões (PBH, 2024). A Figura 1 apresenta a relação cota-vazão do vertedouro e a relação cota-volume da Lagoa do Nado e a Figura 2 apresenta o galgamento na estrutura.

Figura 1 – Relações cota-volume-vazão. Fonte: Adaptado de PBH (2024) e ENEMAX (2022).

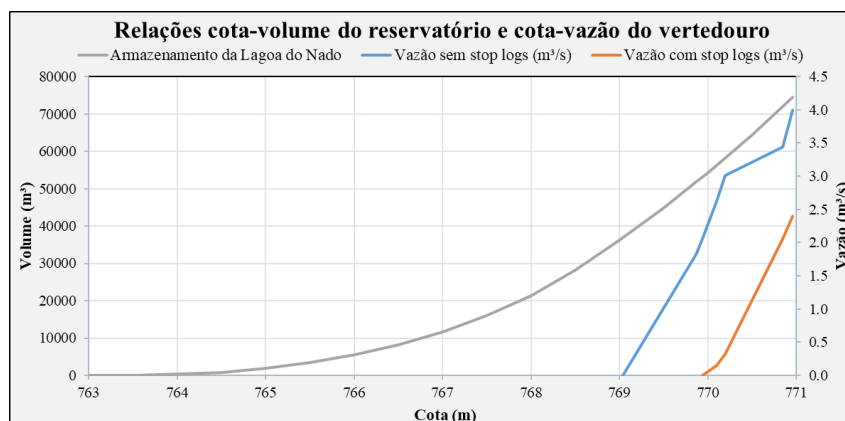


Figura 2 – Galgamento na barragem por volta das 16:00. Fonte: PBH (2024).



Fórmulas de tempo de concentração

Segundo Silveira (2005) as fórmulas empíricas de tempo de concentração (t_c) que obtiveram melhor desempenho, sendo recomendadas para aplicação em bacias urbanas, foram Kirpich (1940), Carter (1961), Schaake et al. (1967) e Desbordes (1974). Esses modelos estão apresentados na Tabela 1, sendo o tempo de concentração (t_c) em horas, o comprimento (L) em km, a declividade média (S) em m/m e a área impermeável (A_{imp}) como fração da área total.

Tabela 1 – Fórmulas empíricas de tempo de concentração.

Método	Fórmula	Referências
Kirpich (1940)	$t_c = \frac{3,989}{60} \times L^{0,77} \times S^{-0,385}$	Tucci et al. (1995); Silveira (2005).
Carter (1961)	$t_c = 0,0977 \times L^{0,6} \times S^{-0,3}$	Silveira (2005); McCuen et al. (1984).
Schaake et al. (1967)	$t_c = 0,0828 \times L^{0,24} \times S^{-0,16} \times A_{imp}^{-0,26}$	Silveira (2005).
Desbordes (1974)	$t_c = 0,0869 \times A^{0,3039} \times S^{-0,3832} \times A_{imp}^{-0,4523}$	Silveira (2005).

Conforme recomendações de Tucci et al. (1995), NRCS (1986), NRCS (2008), PBH (2022) e FHWA (2024), também foi avaliado o Método da Velocidade, consistindo na somatória do tempo de viagem (T_t) de três etapas. O *sheet flow* ocorre em superfícies planas, usualmente na cabeceira de talvegues, de acordo com a Equação 1, sendo tempo de viagem (T_t) em minutos, comprimento (l) em metros, precipitação de TR de 2 anos com duração de 24 horas (P_2) em milímetros – que pode ser obtida pela curva IDF de Pinheiro e Naghettini (1998) para a Região Metropolitana de Belo Horizonte –, declividade do talvegue (S) em m/m e a rugosidade de Manning (n) é adimensional. Para superfícies lisas, como concreto, asfalto, cascalho ou solo exposto, utiliza-se rugosidade de 0,011. O *shallow concentrated flow* vem do *sheet flow*, que se transforma em um escoamento concentrado, seguindo as equações de velocidade da Tabela 2, para cada tipo de superfície, e obtendo o T_t , em segundos, pela Equação 2, sendo comprimento do escoamento (l) em m, e velocidade (V) em m/s. O *open channel flow* ocorre em canais bem definidos, quando existem informações acerca das seções transversais, pela Equação 3, sendo a velocidade (V) em m/s, raio hidráulico (R_h) em m, a declividade do talvegue (S) em m/m e o coeficiente de rugosidade (n) é adimensional, utilizando a Equação 2 para obter o tempo de viagem.

Tabela 2 – Velocidade (m/s) em função da declividade (m/m). Fonte: Adaptado de NRCS (2008).

Superfície	Equação (m/s)
Revestido ou pavimentado	$V = 6,1957 \times (S)^{0,5}$
Caminho de água gramado	$V = 4,9176 \times (S)^{0,5}$
Pasto de grama curta	$V = 2,1204 \times (S)^{0,5}$
Floresta	$V = 0,7711 \times (S)^{0,5}$

$$T_t = \frac{5,5}{(P_2)^{0,5}} * \left(\frac{n * l}{S^{0,5}} \right)^{0,8} \quad (1)$$

$$T_t = \frac{l}{V} \quad (2)$$

$$V = \frac{Rh^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (3)$$

Método do *Soil Conservation Service* (SCS)

O método proposto pelo *Soil Conservation Service* (SCS), um dos mais utilizados na transformação de chuva em vazão, é indicado para estudos de macrodrenagem, o qual permite a obtenção de hidrogramas e sua aplicação em trânsito de cheias (PBH, 2022; COLLISCHONN & TASSI, 2010; RAMOS et al., 1999). Segundo NRCS (1986), o parâmetro base de toda a formulação do SCS é o *Curve Number* (CN), que representa a impermeabilização do solo. A partir da determinação do CN, a formulação do método do SCS é feita com base em equações para estimar o escoamento, conforme NRCS (1986), Naghettini (1997) e Collischonn e Tassi (2010). Nesse método, parte da precipitação é absorvida pela própria bacia, sendo a máxima capacidade de absorção da bacia (S), em milímetros, obtida na Equação 4. É considerado que ocorrem perdas iniciais, conforme Equação 5, que correspondem à absorção inicial da bacia (I_a), em milímetros, em que a chuva que é retida em depressões, interceptada pela vegetação, ocorrência de infiltração e de evaporação. A precipitação excedente (P_e), correspondente ao escoamento superficial, em milímetros, é função dos parâmetros supracitados e da precipitação total (P), conforme Equação 6.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (4)$$

$$I_a = 0,2 \times S \quad (5)$$

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \quad (6)$$

O SCS também apresenta uma metodologia para a formulação de um hidrograma unitário, que é recomendado por PBH (2022). Alguns parâmetros são balizadores para definir o formato desse hidrograma, como o tempo de concentração (t_c) e o *lag time* (t_{lag}). É considerado um bloco de chuva excedente de intensidade constante ao longo de uma duração (ΔD – em horas), sendo o tempo de pico (T_p – em horas) o intervalo entre o início desse bloco até a vazão de pico do hidrograma (Q_p), em m^3/s , que é função da área (A – em km^2) da bacia. A duração é denominada como tempo base (T_b – em horas). Em uma chuva unitária, tem-se as Equações 7, 8, 9 e 10, segundo Tucci et al. (1995).

$$\Delta D = 0,133 \times t_c \quad (7)$$

$$T_p = \frac{\Delta D}{2} + t_{lag} = \frac{\Delta D}{2} + 0,6 \times t_c \quad (8)$$

$$T_b = 2,67 \times T_p \quad (9)$$

$$Q_p = 2,08 \times \frac{A}{T_p} \quad (10)$$

Método de Puls Modificado

PBH (2022) determina que o estudo de trânsito de cheias seja realizado por meio do Método de Puls. Collischonn e Tassi (2010) apontam que esse método se baseia na equação da continuidade, que deve ser resolvida de iterativamente de forma não linear. Assim, esses autores apresentam o Método de Puls Modificado, em que os termos conhecidos estão à direita da igualdade, enquanto os termos

desconhecidos estão à esquerda – em que podem ser obtidos a partir da relação cota-volume do reservatório e da relação cota-vazão do vertedor -. Esse método está apresentado na Equação 11, sendo S o volume do reservatório (m^3), t é o tempo (s), I é a vazão afluente (m^3/s) e O é a vazão efluente (m^3/s), além de usar intervalos discretizados de tempo (Δt).

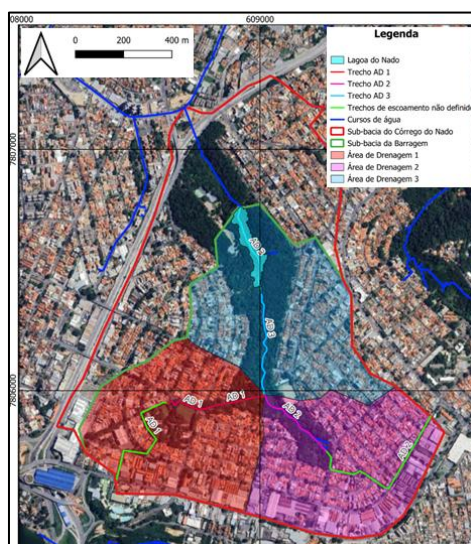
$$\frac{2 * S_{t+\Delta t}}{\Delta t} + O_{t+\Delta t} = I_t + I_{t+\Delta t} + \frac{2 * S_t}{\Delta t} - O_t \quad (11)$$

Sub-bacia em estudo

Inicialmente, foi avaliada a hidrografia de interesse e a topobatimetria da região, definindo a sub-bacia de contribuição de vazões para a barragem da Lagoa do Nado e o seu vertedouro. Foi feita a junção das curvas de nível obtidas em PBH (2015) e a batimetria obtida em ENEMAX (2022), produzindo um Modelo Digital de Terreno (MDT), por meio do software livre QGis, da Open Source Geospatial Foundation Project, em sua versão 3.40.2 Bratislava.

Foi obtido de PRODABEL (2025), a sub-bacia do Córrego do Nado, tendo seus limites refinados a partir do relevo. Então, considerando apenas a contribuição para a barragem, foi traçada uma nova sub-bacia, considerando as curvas de nível, as vias e a drenagem local, com aproximadamente $1,180 \text{ km}^2$. Logo, ela foi dividida em três áreas de drenagem, de forma a discretizar a região em estudo e a obter resultados mais precisos. As áreas de drenagem (AD) 1 e 2 foram traçadas considerando não apenas a topografia, mas também seus dois córregos correspondentes, coincidindo seus exutórios com a confluência entre eles. A partir de sua junção, inicia-se a AD 3. A Figura 3 apresenta as sub-bacias, as áreas de drenagem e os trechos supracitados.

Figura 3 – Trechos, sub-bacias e áreas de drenagem. Fonte: Adaptado de Google Earth (2025) e PRODABEL (2025).



É necessário definir o uso do solo na sub-bacia, visando a definir o *Curve Number* (CN) representativo, de forma a aplicar o método do SCS. O Parque está localizado ao norte da calha do Ribeirão Arrudas, no Grupo Hidrológico B, segundo Ramos et al. (1999). A partir da inspeção visual da região de interesse, pelas imagens do Google Earth (2025), definiu-se os tipos de uso do solo e seus respectivos valores de CN, conforme apresentado na Tabela 3, seguindo as recomendações de

Naghettini (1999). Para lâminas d'água, como a lagoa, foi adotado CN de 100. A aplicação do método foi feita no software livre HEC-HMS, na versão 4.12, do U.S Army Corps of Engineers.

Tabela 3 – Coeficientes de CN adotados para a região desse estudo.

Utilização ou cobertura do solo	CN
Bosques ou zonas florestais com boa cobertura	55
Pastagens ou terrenos baldios em más condições	79
Espaços abertos, relvados, parques, com relva em mais de 75% da área	61
Zonas residenciais com lotes menores de 500 m ² e 65% de média impermeável	85
Estacionamentos, telhados, viadutos, arruamentos e estradas asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98
Zonas comerciais ou de escritórios	92

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do que foi estabelecido acerca da hidrografia, do relevo e do uso do solo na região em estudo, pode-se avaliar o tempo de concentração (t_c) da sub-bacia da barragem da Lagoa do Nado. A síntese da aplicação de cada método está explicitada na Tabela 4. A dispersão dos valores encontrados é elevada, em que o desvio padrão dos tempos de concentração da AD 1 e AD 3 é aproximadamente metade da média – que é próxima dos valores do Método da Velocidade -.

Tabela 4 – Tempos de concentração para o estudo de caso.

Área	Tempo de concentração - em minutos				
	Kirpich (1940)	Carter (1961)	Schaake et al. (1967)	Desbordes (1974)	Método da Velocidade
AD 1	17,030	23,027	20,772	49,598	26,676
AD 2	16,390	21,334	18,609	40,493	30,341
AD 3	14,895	16,364	10,933	35,877	21,281

Foi obtido, pela Defesa Civil (2024), a precipitação a cada cinco minutos no dia da ruptura, referente às estações 07FP – Córrego do Nado e à 08FP – Ribeirão Pampulha, localizadas próximo à sub-bacia. O último pulso de precipitação foi o mais relevante, chegando a 74,8 mm em 105 minutos, na estação 07FP, e 69,0 mm em 110 minutos, na estação 08FP. Utilizando a curva IDF de Pinheiro e Naghettini (1998), identificou-se, para as estações 07FP e 08FP, respectivamente, tempos de retorno de aproximadamente 20 e 10 anos. ENEMAX (2022) indica que a estrutura, antes de passar pela sua readequação em 2022, necessitava de um aumento aproximado de 23 vezes, com a barragem apresentando um dano potencial associado (DPA) alto. Segundo ABNT (2024), na NBR 13.028, para tal DPA, é requisitado o dimensionamento do sistema extravasor para tempo de retorno de 10.000 anos ou para a PMP, enquanto o galgamento se instalou em um tempo de retorno entre 10 e 20 anos.

Considerando a distribuição espacial da precipitação, com duas estações pluviométricas relevantes na região de estudo, deve-se aplicar o método de Thiessen, conforme Tucci et al. (1995) e Naghettini (1999). Para a AD 1 e a AD 2, deve-se utilizar apenas os dados da estação 08FP e, para a AD 3, foi considerada uma média ponderada das duas estações pela área, em que a estação 08FP – a que apresentou menores níveis de precipitação – tem 78,78% de área de influência e a estação 07FP tem 21,22%.

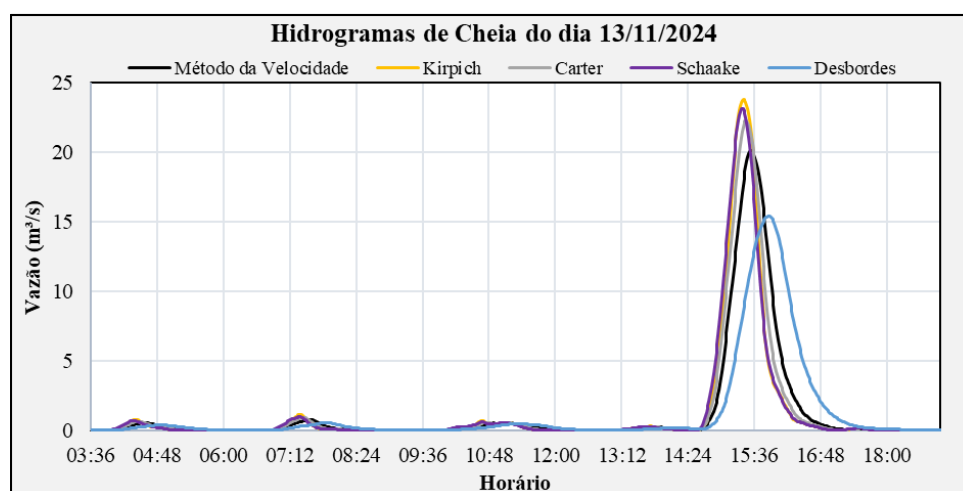
A transformação chuva-vazão consiste na consolidação de todos os resultados obtidos ao longo deste estudo hidrológico. Aplicou-se o método do SCS, visando a obter a precipitação efetiva, com os resultados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Aplicação e resultados do método do SCS.

Área de Drenagem	Curve Number	Precipitação total	Máxima Capacidade de Absorção da Bacia	Absorção Inicial	Altura de Precipitação efetiva
	AMC II	P (mm)	S (mm)	I _a (mm)	P _e (mm)
AD 1	85,199	87,200	44,125	8,825	50,144
AD 2	85,408	87,200	43,398	8,680	50,571
AD 3	77,862	89,969	72,219	14,444	38,608

Foi feita a simulação de todo o dia da ruptura da barragem, de forma a obter as vazões resultantes no vertedouro, em que a Figura 4 apresenta os hidrogramas afluentes à lagoa, obtidos para cada método de tempo de concentração avaliado. Nota-se que o formato dos hidrogramas são semelhantes, com diferenças relacionadas tanto à vazão quanto ao tempo de pico, com variações entre os maiores e menores valores da ordem de 8 m³/s e de 30 minutos.

Figura 4 – Hidrogramas de cheia do evento de ruptura.



O comportamento da Lagoa do Nado foi avaliado, verificando o amortecimento das vazões, pelo Método de Puls Modificado, e o galgamento em cenários distintos. Salienta-se que a constatação do galgamento ocorre quando o volume reservado na Lagoa do Nado atinge seu máximo, de 74.495 m³ na crista, com cota 770,96 m. Nesse ponto, o reservatório não é capaz de armazenar as vazões subsequentes que chegam das áreas de drenagem, em que a lâmina d'água passa a escoar e a verter pelo barramento. Assim, a vazão amortecida, após esse momento, vai a zero.

Para o Cenário 1, utiliza-se a condição real do evento, com os *stop logs* instalados no vertedouro e os hidrogramas afluentes de cada método de tempo de concentração. Estabeleceu-se que a cota inicial do reservatório na data de ruptura estava em 769,94 m, elevação em que os anteparos realizavam a retenção do extravasamento, ou seja, vazão zero, em que a Figura 5 apresenta os resultados dos trânsitos de cheias realizados. Com isso, o galgamento foi instalado entre 15:17 e 15:44 do dia 13/11/2024, de acordo com cada método, seguindo as condições supracitadas.

Para o Cenário 2, utilizou-se uma condição hipotética do evento, na qual os *stop logs* não estivessem instalados, considerando o hidrograma afluente de cada método de tempo de concentração. Estabeleceu-se que o NA inicial do reservatório na data de ruptura estava em 769,039 m, que é a elevação da soleira do extravasor, ou seja, vazão zero, em que a Figura 6 apresenta os

resultados obtidos para cada trânsito de cheias. Assim, o vertedouro foi capaz de transportar vazões maiores, mas o galgamento ainda foi instalado em todos os casos, entre 15:34 e 16:13. Nota-se que, se os *stop logs* não tivessem sido irregularmente instalados, o vertedouro suportaria entre 20 e 30 minutos de cheia, aproximadamente, quando comparado à situação com *stop logs*.

Figura 5 – Amortecimento no Cenário 1.

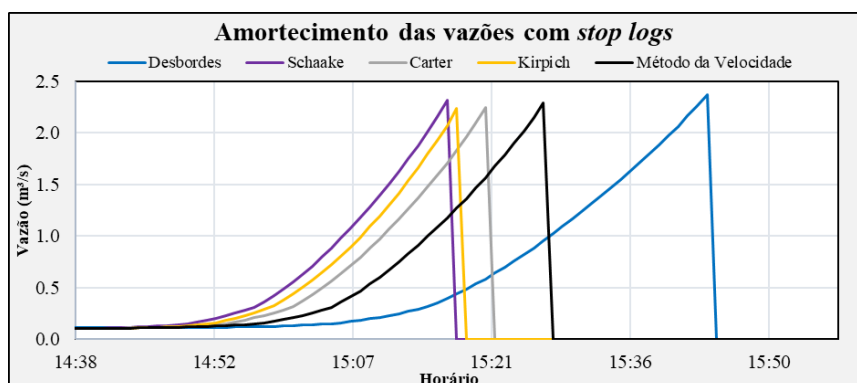
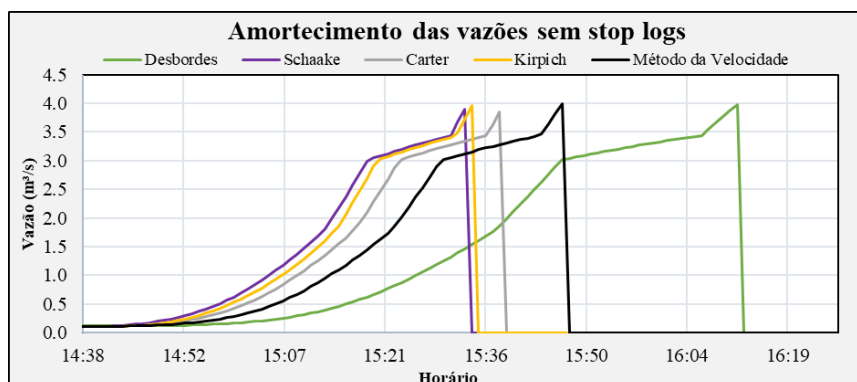


Figura 6 – Amortecimento no Cenário 2.



Foi feito, também, um teste de sensibilidade, utilizando uma condição hipotética do evento, em que os *stop logs* não estivessem instalados, e o hidrograma afluente do Método da Velocidade. Obteve-se que a cota do reservatório, no início do dia 13/11/2024, deveria ser de 768,00 m, de forma a realizar a atenuação das vazões afluentes na Lagoa do Nado sem a instalação do galgamento. A soleira do vertedouro se localiza na cota 769,039 m, ou seja, seria necessário o bombeamento de aproximadamente 15.500 m³ de água para fora do reservatório, de forma a alcançar esse nível.

A partir dos resultados obtidos nas simulações, é evidente que o subdimensionamento do vertedouro foi o fator balizador para a falha da barragem. Mesmo em cenários hipotéticos, em que a estrutura não era obstruída pelos *stop logs*, ainda ocorre o galgamento. Além disso, nota-se que a implantação de vertedouros hidromecânicos com controle eletrônico de comportas é essencial, que poderia, no presente estudo de caso, ter evitado a instalação indevida dos *stop logs*.

Vale ressaltar que é provável que o galgamento tenha se instalado consideravelmente antes do que foi reportado por PBH (2024), com referência de 16:00. Conforme representado na Figura 2, percebe-se que, além do galgamento – em que é claro o vertimento de água por cima da barragem –, também é visível que o processo de abertura da brecha de ruptura já se iniciou. Nesse contexto,

Stephens (2010) indica que barragens de terra homogênea não resistem a esse fluxo de água. Então, a partir da instalação do galgamento, pode-se considerar que já ocorre o início da brecha. Logo, isso aponta para a coerência dos resultados obtidos, especialmente quanto aos horários de instalação do galgamento pelos diferentes tempos de concentração avaliados.

CONCLUSÃO

A transformação chuva-vazão e o trânsito de cheias no reservatório, em todos os cenários analisados, levaram ao galgamento da barragem. Nota-se que, utilizando diferentes tempos de concentração, o momento de instalação do galgamento varia levemente, mas está adequado com o que foi reportado por PBH (2024).

Em relação ao vertedouro, conforme PBH (2024), houve uma readequação em 2022, rebaixando sua soleira em aproximadamente 80 centímetros. Assim, conclui-se que a readequação do vertedouro, pelo poder público, foi aquém do necessário. A barragem da Lagoa do Nado foi construída em meados da década de 1940, aproximadamente 80 anos antes de sua ruptura. Diante da falha em um evento com um tempo de retorno baixo, percebe-se que o vertedouro não foi modernizado ao longo da vida da estrutura.

Espera-se que tenham ocorrido mudanças climáticas com efeitos nos padrões e nos níveis de precipitação na cidade desde a época da construção, que não foram contabilizados inicialmente. Ademais, o avanço na impermeabilização da bacia ao longo das décadas contribui para o aumento das vazões afluentes no reservatório, além do progressivo assoreamento da Lagoa do Nado, diminuindo o volume útil de amortecimento.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2024). *NBR 13028: Mineração — Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água – Requisitos*. Rio de Janeiro.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (2024). *Relatório de Segurança de Barragens – 2023*. Ministério do Desenvolvimento Regional, Brasília.
- Carter, R. W (1961). “*Magnitude and Frequency of Floods in Suburban Areas*”. U.S.G.S. Professional Paper 424-B, pp. 9-11.
- COLLISCHONN, W.; TASSI, R (2010). *Introduzindo Hidrologia*. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- DEFESA CIVIL (2024). *Dados de precipitação*. Diretoria de Meteorologia e Alerta de Risco, Subsecretaria de Proteção e Defesa Civil, Secretaria Municipal de Obras e Infraestrutura, Belo Horizonte.
- DESBORDES, M (1974). “*Réflexions sur les methodes de calcul des reseaux urbains d’assainissement pluvial*”. Université des Sciences e Techniques du Languedoc, Montpellier.
- ENEMAX (2022). *LDN-HID-21-001_R01: Avaliação Hidrológica e Hidráulica, Barragem Parque Lagoa do Nado*. Diretoria de Gestão de Águas Urbanas, Prefeitura de Belo Horizonte. Belo Horizonte, Fundação Cristiano Ottoni.
- FHWA – FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION (2024). *Urban Drainage Design: Hydraulic Engineering Circular No. 22*. U.S. Department of Transportation, 4 ed., 313p.

GOOGLE EARTH (2025). *Google Earth*. Google. Disponível em: <https://earth.google.com/web>.

Kirpich, Z. P (1940). “*Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*”. Civil Engineering, Vol. 10, No. 6, p. 362.

McCUEN, R. H., WONG, S. L., RAWLS, W.J (1984). “*Estimating urban time of concentration*”. Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 110, n.7, ASCE, pp 887-904.

NAGHETTINI, M (1997). *Notas de Aula de Hidrologia Aplicada: Primeira Parte*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NAGHETTINI, M (1999). *Notas de Aula de Engenharia de Recursos Hídricos*. Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NRCS – NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (1986). *Urban Hydrology for Small Watersheds: Technical Release 55*. United States Department of Agriculture, Conservation Engineering Division, Washington, DC.

NRCS – NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (2008). “*Part 630: Hydrology*”, in *National Engineering Handbook: Time of Concentration*. United States Department of Agriculture, Chapter 15, Washington, DC.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2015). *Acervo cartográfico e geográfico BHGEO*. Disponível em: <https://prefeitura.pbh.gov.br/bhgeo/acervo-cartografico>.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2022). “*Capítulo 5 – Sistema de Drenagem Fluvial: macrodrenagem, tratamento de fundo de vale e mitigação de inundações*” in *Instrução Técnica para Elaboração de Estudos e Projetos de Drenagem*. Belo Horizonte, 73p.

PBH – PREFEITURA DE BELO HORIZONTE (2024). *Relatório Técnico Preliminar: Barragem do Parque Municipal Fazenda Lagoa do Nado*. Comissão Especial, Portaria SMOBI 314/2024, 79p.

PINHEIRO, M.M.G. & NAGHETTINI, M (1998). “*Análise Regional de Frequência e Distribuição Temporal das Tempestades na Região Metropolitana de Belo Horizonte – RMBH*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, vol. 3, n. 4, pp. 73-88.

PRODABEL (2025). *Catálogo metadados BHGEO*. Belo Horizonte. Disponível em: <https://geonetwork.pbh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search;jsessionid=8FFB268563652BF6D2E160029F84E9DF.geonetwork1#/home>.

RAMOS, M. H. D.; VIANA, C. S.; BAPTISTA, M. B (1999). “*Classificação dos solos de Belo Horizonte segundo grupos hidrológicos do US Soil Conservation Service*” in XIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Belo Horizonte.

SCHAAKE, J. C., GEYER, J. C., KNAPP, J. W (1967). “*Experimental examination of the rational method*”. Journal of Hydraulics Division, ASCE, vol. 93, No. HY6, pp 353-370.

SILVEIRA, A (2005). “*Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, Vol. 10, n.1, pp. 5-23.

STEPHENS (2010). *Manual on small earth dams: A guide to siting, design and construction*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 124p.

TUCCI, C.E.M., PORTO, R.L., BARROS, M.T (1995). *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: ABRH e Editora da Universidade, 428p.