

## XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

### **ANÁLISE DA VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DE OCUPAÇÃO HUMANA DE UM TERRITÓRIO COMPLEXO A RISCO DE INUNDAÇÕES: O CAMPUS DA UFMG**

*Thiago de Almeida Assis<sup>1</sup>; Viviane Borda Pinheiro Rocha<sup>2</sup>;  
Larissa Nunes Santos<sup>1</sup> & Julian Cardoso Eleutério<sup>2</sup>.*

**Resumo:** A gestão do risco associado a áreas de inundações requer levantamento dos elementos alocados nessas áreas e a vulnerabilidade destes, para permitir um planejamento de emergência eficaz e possibilitar a maior redução de danos em casos desses eventos extremos. Com intuito de fornecer subsídios para avaliação da exposição e vulnerabilidade de parte da comunidade acadêmica do Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais, o presente trabalho objetivou mapear o risco atrelado à ameaça representada pela mancha de inundaçāo do Córrego Engenho Nogueira. Como meio para esse levantamento, foram utilizadas informações referentes à ocupação do campus Pampulha disponibilizadas por diferentes órgãos da UFMG. Foi identificada uma população de 9.044 pessoas como potencialmente impactadas, incluindo alunos de graduação, professores, servidores técnico-administrativos e trabalhadores terceirizados, sendo cerca de 1,95% com 65 anos ou mais. Além disso, os resultados confirmam a complexidade envolvida no mapeamento de exposição e vulnerabilidade da população potencialmente sujeita a inundações no campus, devido à grande variabilidade espaço-temporal associada à sua ocupação.

**Palavras-Chave** – Avaliação de risco de inundaçāo; Análise de Exposição; Estimativa de Danos.

### **ANALYSIS OF SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF HUMAN OCCUPATION OF A COMPLEX TERRITORY AT RISK OF FLOODING: THE UFMG CAMPUS**

**Abstract:** Risk management associated with flood areas requires a survey of the elements located in these areas and their vulnerability, to enable effective emergency planning and to reduce damage in cases of these extreme events. In order to provide support for assessing the exposure and vulnerability of part of the academic community of the Pampulha Campus of the Federal University of Minas Gerais, this study aimed to map the risk associated with the threat posed by the flooding of the Engenho Nogueira Stream. As a means for this survey, information regarding the occupancy of the Pampulha campus provided by different departments of UFMG was used. A population of 9,044 people was identified as potentially impacted, including undergraduate students, professors, administrative staff and outsourced workers, with approximately 1.95% being 65 years of age or older. Furthermore, the results confirm the complexity involved in mapping the exposure and vulnerability of the population potentially subject to flooding on the campus, due to the significant spatiotemporal variability associated with its occupation.

<sup>1</sup> Graduando(a)s da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (EE-UFMG).

<sup>2</sup> Professor(a)s do Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos da UFMG (EHR-UFMG).

Contatos: thiagoalmeidaassis2014@gmail.com; viviane.pinheiro@ehr.ufmg.br; julian.eleuterio@ehr.ufmg.br.

**Keywords** – Flood risk assessment; Exposure analysis; Damage estimation.

## INTRODUÇÃO

A gestão do risco de inundações de origem tecnológica e naturais envolve diversas etapas, sendo fundamental a análise e o mapeamento de exposição e vulnerabilidade, que consiste na caracterização social, econômica e ambiental da área afetada e na avaliação da susceptibilidade a danos associada. Esse mapeamento fornece informações fundamentais para o planejamento e aprimoramento dos sistemas de alerta e evacuação (SILVA et al., 2021b). De acordo com Merz et al. (2010), apesar de eventos como inundações causarem diversos tipos de danos, as avaliações de risco se concentram especialmente em danos econômicos e em perdas de vida por estes envolverem menos subjetividade.

As informações levantadas, dentre outras aplicações, podem subsidiar modelos dinâmicos de perdas de vida como o LifeSim (ABOELATA & BOWLES, 2005), que além de estimar o número de fatalidades permite simular diferentes cenários de alerta e evacuação, fornecendo subsídios para o aprimoramento de PAEs e Planos de Contingência, permitindo melhor compreensão do processo de evacuação (NASCIMENTO et al., 2023; SILVA et al., 2020). Alguns autores, como Matos e Eleutério (2019), Silva et al. (2021b) e Nascimento et al. (2023), realizaram importantes análises de risco de populações expostas a inundações e rompimentos de barragens utilizando, majoritariamente, dados secundários provindos de censos populacionais para subsidiar modelos e simulações de sistemas de alerta e evacuação (SAE) e de perdas de vidas associadas a inundações.

Estudos recentes têm ressaltado a importância de se incorporar a variabilidade espaço-temporal da ocupação humana na avaliação de riscos às inundações, especialmente em ambientes urbanos. Destacam-se os estudos de Smith et al. (2015) e de Li et al. (2023). Smith et al. (2015) propuseram um modelo espaço-temporal de população que evidencia variações horárias e sazonais de ocupação, fundamentais para estimativas mais precisas de exposição no Reino Unido e Li et al. (2023) demonstraram como a distribuição populacional ao longo do dia pode alterar significativamente os níveis de exposição ao risco em áreas urbanas da China. Esses trabalhos dialogam diretamente com o presente estudo, que busca compreender os desafios de mapear a exposição e a vulnerabilidade humana no Campus Pampulha da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), localizado na regional Pampulha do município de Belo Horizonte (MG). Uma análise preliminar de vulnerabilidade da região potencialmente afetada por inundações no Campus foi feita com base em dados secundários provenientes do Censo (SUDECAP, 2022). O estudo indicou que 98% das edificações localizadas na área de interesse possuem uso não residencial.

No Campus, apesar de não existirem moradores fixos, há uma expressiva concentração de população flutuante, composta majoritariamente por alunos, professores e servidores técnico-administrativos. Esse local é um território com padrões complexos de ocupação que flutuam diária e sazonalmente em função das atividades acadêmicas, administrativas e da realização de eventos pontuais, como a mostra de profissões, que já chegou a reunir em um único dia cerca de 30.000 pessoas (PAIXÃO, 2024). O conhecimento sobre essa dinâmica populacional é essencial para se compreenderem riscos e para subsidiar sua gestão, como por exemplo, via o desenvolvimento e aprimoramento de sistemas de alerta e evacuação, ou por meio de alterações estruturais e organizacionais.

Nesse contexto, o objetivo principal desse trabalho é analisar a exposição e a vulnerabilidade humana no campus da UFMG, com o intuito de fornecer subsídio para futuras análises de risco e simulações dinâmicas de sistemas de alerta e evacuação relacionados a inundações nessa região.

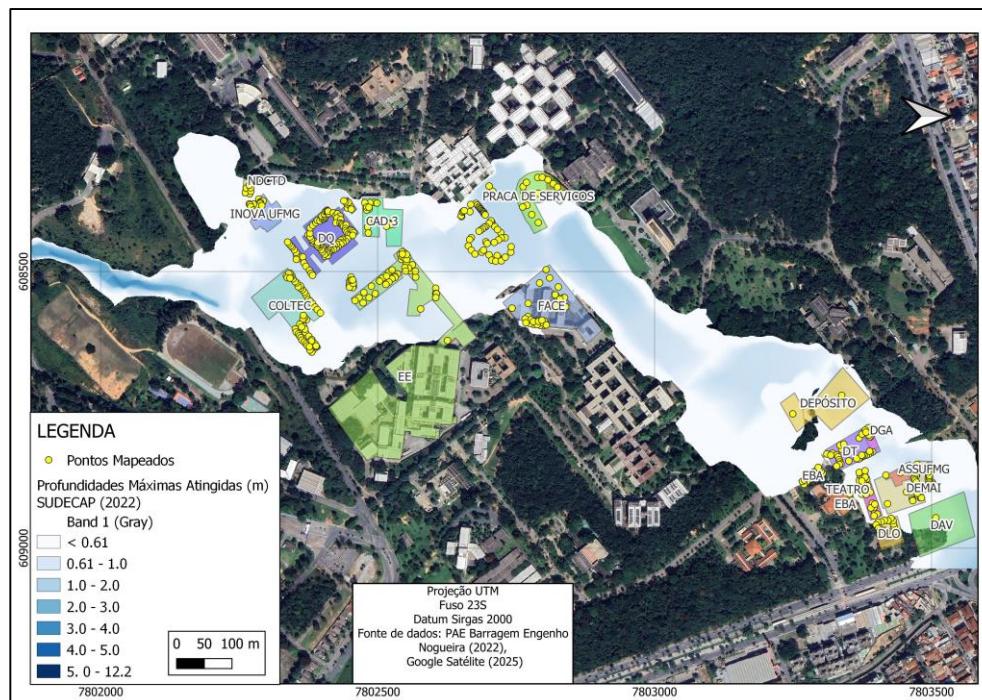
Diferentemente de outros estudos, a metodologia empregada nesse trabalho passa por um levantamento detalhado de ocupação do Campus, baseando-se em levantamentos realizados em campo e, principalmente, na análise de dados levantados pela própria universidade referentes à presença de estudantes e profissionais na abrangência do Campus.

## METODOLOGIA

A metodologia empregada nesse estudo consistiu basicamente em 4 grandes etapas: (i) levantar mapa de inundação afetando o Campus da Pampulha; (ii) identificar e georreferenciar as áreas susceptíveis a abrigar populações na área inundável; (iii) levantar bases de dados e informações referentes à população do Campus; e (iv) analisar a variabilidade espacial e temporal dessa população.

A primeira etapa consistiu no levantamento da abrangência potencial de inundações no Campus. A mancha de inundação utilizada no estudo (Figura 1) consistiu em um dado secundário, obtido por meio de estudos hidrológicos e hidráulicos desenvolvidos pela empresa ENEMAX (SUDECAP, 2021), e disponibilizados pela Prefeitura de Belo Horizonte. Com base na mancha de inundação, foram identificados os prédios expostos (Figura 1), cujas salas e padrões de ocupação foram levantados na sequência. Conforme o uso principal de cada edificação, estas foram classificadas em três categorias: (i) unidades acadêmicas, com grande presença de estudantes e salas de aula; (ii) unidades administrativas, responsáveis pelo suporte às diferentes unidades da universidade; e (iii) "outros", englobando as edificações que não se enquadram nas categorias anteriores.

Figura 1: Localização e abrangência da área de risco a inundações e as edificações expostas no Campus da UFMG.



Após essa classificação, realizou-se um trabalho de campo com o uso do aplicativo QField, para mapeamento de espaços dentro das edificações, salas e estacionamentos expostos, considerando apenas o primeiro pavimento das edificações, dado que as profundidades máximas do estudo SUDECAP (2021) não excederam 2,0 metros nesses locais. Os ambientes identificados incluíram:

salas de aula, laboratórios, auditórios de seminários, bibliotecas, salas administrativas, salas de professores, grêmios estudantis, lanchonetes, galpões, copas, depósitos e banheiros. Para fins de categorização e análise de exposição humana, foram adotadas as seguintes premissas: os auditórios de seminários foram classificados separadamente por serem espaços de uso eventual, geralmente reservados para eventos e palestras; as salas administrativas foram definidas como locais com circulação exclusiva de funcionários da universidade; e ambientes recreativos foram considerados separadamente. As demais categorias foram organizadas conforme sua nomenclatura usual. Para cada edificação exposta, foram também levantados a composição material das construções e o número de pavimentos, dados relevantes para se compreender a vulnerabilidade estrutural e a possibilidade de abrigo de populações em andares superiores.

As informações referentes à população foram obtidas junto aos órgãos responsáveis por cada público, abrangendo servidores docentes, servidores técnico-administrativos, trabalhadores terceirizados e alunos de graduação. Os dados dos servidores docentes e técnico-administrativos foram fornecidos pelo Departamento de Desenvolvimento de Recursos Humanos (DRH) e pela Pró-Reitoria de Recursos Humanos (PRORH), ambos datados de fevereiro de 2025. Essas informações incluíam, além do total de servidores por unidade, a faixa etária, permitindo a identificação da proporção de indivíduos com idade superior e inferior a 65 anos. As informações foram disponibilizadas de forma estratificada para toda a universidade.

Os dados relativos aos trabalhadores terceirizados foram obtidos junto à Pró-Reitoria de Administração (PRA), com base na unidade de prestação de serviço de cada profissional, e datam de janeiro de 2025, não sendo informada a idade desse público. No caso dos alunos do COLTEC (Colégio Técnico da UFMG), os dados foram coletados por meio de visita presencial com o responsável pela seção de ensino. Já os dados dos alunos de graduação foram obtidos por meio do portal de dados abertos da UFMG, referentes às matrículas ativas no ano de 2024, com última atualização em 17 de dezembro daquele ano. As informações foram organizadas por curso e por turno (diurno e noturno), permitindo identificar a distribuição da população estudantil por unidade acadêmica localizada na área potencialmente afetada. Para estimar a população total em cada unidade, os cursos foram associados às respectivas unidades às quais estão institucionalmente vinculados. A soma do número de matrículas dos cursos associados resultou na estimativa da população de alunos por unidade e por turno (diurno/noturno). Levando-se em conta o pico de acesso ao campus que ocorre no início da manhã, bem como a ausência de dados detalhados por curso sobre a distribuição horária na maioria das unidades, sendo conhecidas apenas as quantidades totais de alunos por turno, adotou-se a suposição de que 50% dos estudantes do turno diurno estariam presentes no período da manhã e os outros 50% no período da tarde.

Por fim, para compreensão da variabilidade espacial e temporal da população potencialmente impactada pela mancha de inundação em onze salas de aula da Escola de Engenharia, foram analisados dados de ocupação horária representados pelas matrículas realizadas no primeiro semestre de 2025.

## RESULTADOS

Foram identificadas como potencialmente diretamente impactadas pela mancha de inundação nove Unidades Acadêmicas (Figura 1), sendo elas: Centro de Atividades Didáticas 3 (CAD 3), Colégio Técnico (COLTEC), Departamento de Química (DQ), Departamento de Química Anexo 3 Bloco A, Escola de Belas Artes (EBA), Escola de Engenharia (EE), Faculdade de Ciências Econômicas (FACE), Instituto de Ciências Exatas (ICEX), Teatro Universitário. No que se refere às unidades administrativas, foram mapeadas: Associação dos Servidores da Universidade Federal de Minas Gerais (ASSUFEMG), Departamento de Gestão Ambiental (DGA), Departamento de

Logística (DLO), Departamento de Manutenção e Operação da Infraestrutura (DEMAI), Divisão de Áreas Verdes (DAV), Divisão de Transportes (DT), Inova UFMG, Núcleo de Desenvolvimento Científico e Tecnológico em Descargas Atmosféricas (NDCTD). Como outros tipos de uso, foram identificados um depósito de materiais de construção próximo ao DLO e diversas lojas localizadas na Praça de Serviços, no entanto, só foram obtidas informações de ocupação referentes à Livraria UFMG e à Rádio UFMG.

Com relação à quantidade de ambientes considerados vulneráveis, foram mapeados os seguintes quantitativos distribuídos nas diferentes unidades mapeadas: 104 salas de aula, 78 laboratórios, 14 auditórios para seminários, 6 bibliotecas, 128 salas administrativas, 14 salas de professores, 3 lanchonetes, 18 ambientes recreativos (considerando grêmios estudantis), 4 galpões, 11 copas, 46 depósitos e 58 banheiros.

Tabela 1. Distribuição da População por Unidade e Faixa Etária (< e > 65 anos), por Categoria de Vínculo (servidores, terceirizados e alunos de graduação) durante o período matutino potencialmente exposto à mancha de inundação.

UNIDADE	Servidores docentes		Servidores técnicos administrativos		Trabalhadores terceirizados		Alunos graduação		População total	
	< 65 anos	> 65 anos	< 65 anos	> 65 anos	< 65 anos	> 65 anos	< 65 anos	> 65 anos	< 65 anos	> 65 anos
<b>CAD 3</b>	0	0	0	0	10	1	0	0	10	1
<b>COLTEC</b>	56	2	48	0	10	1	542	0	656	3
<b>DEMAI</b>	0	0	75	7	307	21	0	0	382	28
<b>DGA</b>	0	0	18	0	1	0	0	0	19	0
<b>DLO/DT</b>	0	0	75	8	40	3	0	0	115	11
<b>DQ/ICEX</b>	308	20	138	7	49	4	1284	6	1779	37
<b>DAV</b>	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0
<b>EBA</b>	107	14	60	2	24	2	473	3	664	21
<b>EE</b>	272	31	132	2	81	5	3751	20	4236	58
<b>FACE</b>	111	5	66	5	25	2	643	4	845	16
<b>Livraria UFMG</b>	0	0	0	0	3	0	0	0	3	0
<b>Praça de Serviços</b>	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0
<b>Rádio UFMG</b>	0	0	0	0	4	0	0	0	4	0
<b>Teatro</b>	7	1	7	0	0	0	135	0	149	1
<b>TOTAL</b>	861	73	619	31	560	39	6828	33	8868	176

Quanto à população de servidores docentes potencialmente impactada, foram identificadas 934 pessoas distribuídas nas diferentes unidades (Tabela 1), das quais 92,2% têm menos de 65 anos. No caso dos servidores técnico-administrativos, foram contabilizadas 650 pessoas, sendo que 95,2% têm menos de 65 anos. Já entre os trabalhadores terceirizados, observou-se um total de 599 pessoas. Como não foi possível acessar dados específicos sobre a faixa etária dos trabalhadores terceirizados, adotou-se como estimativa a média dos percentuais de docentes e técnico-administrativos com menos de 65 anos, resultando em 93,7%, garantindo uma representação etária coerente com a composição populacional conhecida da UFMG.

Ressalta-se que a população potencialmente impactada refere-se às pessoas localizadas em unidades que possuem ao menos parte de sua estrutura atingida pela mancha de inundação. Isso significa que nem todas as áreas dessas unidades estão necessariamente dentro da mancha, mas, para fins de estimativa, as pessoas foram consideradas por estarem em edificações parcialmente afetadas

e pela ausência de dados mais específicos que permitam rastrear sua localização exata no espaço e no tempo, o que seria viabilizado, por exemplo, por meio de curvas distribuições de probabilidade.

Quanto à distribuição temporal dessa população no campus, dada a ausência de informação, foi assumido que todos os trabalhadores atuem em regime de dedicação exclusiva, com jornada diária de 8 horas. Assim, foi assumido que esses estejam presentes principalmente nos turnos da manhã e da tarde, com exceção de alguns docentes que ministram aulas no período noturno. Não foram obtidas informações suficientes para se detalhar essa distribuição temporal.

A principal incerteza nesta análise diz respeito à distribuição espacial dos trabalhadores terceirizados. Embora muitos estejam vinculados a unidades específicas, uma parcela significativa atua em diversas áreas do campus, como os responsáveis pela manutenção das áreas verdes, o que dificulta a identificação precisa de sua localização dentro da mancha de inundação. Por outro lado, docentes e técnico-administrativos, embora também se desloquem ao longo do dia, tendem a permanecer majoritariamente em seus prédios de trabalho, o que permite uma estimativa espacial mais confiável. Portanto, a alocação espacial dessas populações considerou as unidades institucionais de vínculo como referência para a quantificação dos dados.

Em relação aos alunos de graduação, foram identificadas 6.861 pessoas, distribuídas nas diferentes unidades expostas (Tabela 1). Na ausência de informações específicas sobre a faixa etária dos estudantes, o dado mais próximo disponível para o ano de 2024 refere-se ao número de alunos com mais de 60 anos, totalizando 139 estudantes, o que representa 0,54% do total de graduandos da UFMG (UFMG, 2024). Considerando a indisponibilidade de dados específicos para a faixa acima de 65 anos e a pequena diferença entre as faixas de 60 a 65 anos, optou-se por utilizar esse dado como aproximação para construção de futuros cenários para aplicação em modelos de risco. Presumiu-se também que essa população esteja distribuída proporcionalmente ao total de alunos em cada unidade.

Uma informação importante obtida que permitiu fazer análises preliminares acerca da variabilidade temporal de ocupação por alunos de graduação concerne aos dados de ocupação horária esperada nas dez salas de aula da Escola de Engenharia identificadas como potencialmente impactadas pela mancha de inundação, referentes ao primeiro semestre de 2025. Os gráficos box-plot das figuras 2, 3 e 4 apresentam a sazonalidade e variabilidade de ocupação no tempo desses locais. A Figura 2 apresenta a variação da ocupação total com dados agregados de todas as salas, considerando as informações de segunda a sexta, ao longo de todos os dias de aula na UFMG, que se inicia às 7:30 da manhã e termina às 22:35 da noite. A Figura 3 representa a variação da ocupação total com dados agregados de todas as salas e horários ao longo dos dias da semana. Por fim, A Figura 4 apresenta a variação da ocupação entre as salas de aula, considerando os dados agregados por dia da semana.

No turno da noite, a partir das 19:00, verifica-se um novo pico de ocupação, seguido por uma redução gradual à medida que o expediente se encerra (Figura 2). No turno da noite, a partir das 19:00, verifica-se um novo pico de ocupação, seguido por uma redução gradual à medida que o expediente se encerra. Nesse período, observa-se também um aumento na variabilidade da ocupação entre os dias da semana, o que pode estar relacionado à forma como as disciplinas noturnas são distribuídas na grade curricular. Observa-se que, com exceção da sexta-feira em que a ocupação das salas é significativamente menor os demais dias apresentam medianas de ocupação relativamente próximas entre si (Figura 3).

Outro ponto relevante é o comportamento da ocupação na quarta-feira. Os dados desse dia se aproximam de uma distribuição normal, o que é evidenciado pela simetria do box-plot e pela concentração de pontos ao redor da média. Nesse dia a média de ocupação de todas salas agregadas é de aproximadamente 193 pessoas, o que, aliado à sua distribuição regular, torna esse dia particularmente interessante para modelagens estatísticas mais refinadas.

As capacidades máximas de cada sala variam da seguinte maneira (Figura 4): 1162 e 1180 (45 lugares); 1169, 1173 e 1174 (55 lugares); 1166, 1170 e 1177 (60 lugares); 1177 (70 lugares); 1163 (80 lugares); e a 1176 (100 lugares). De modo geral, observa-se uma grande variação entre as salas, tanto em relação à média de ocupação quanto à dispersão dos dados. Algumas salas, como a 1163 e a 1176, destacam-se por apresentarem altas médias de ocupação e baixa variabilidade, sugerindo que são frequentemente utilizadas por turmas grandes ou disciplinas com alta adesão, de acordo com suas maiores capacidades. Por outro lado, salas como a 1162, 1169 e 1170 apresentam baixas médias de ocupação e, em alguns casos, grande variabilidade.

Figura 2: Variação da ocupação por faixa de horário agregado de todas as salas e dias da semana.

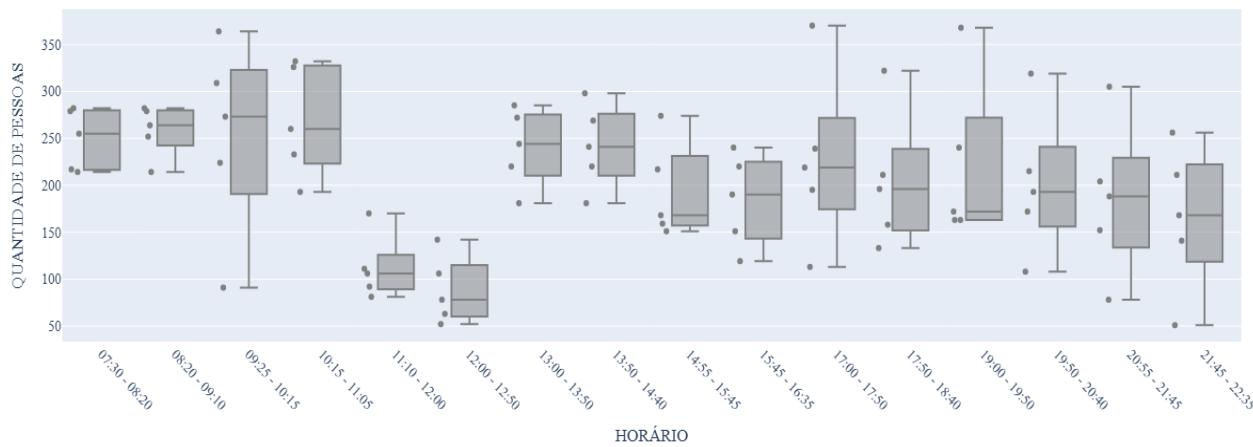


Figura 3: Variação da ocupação por dia da semana agregado de todas as salas e horários.

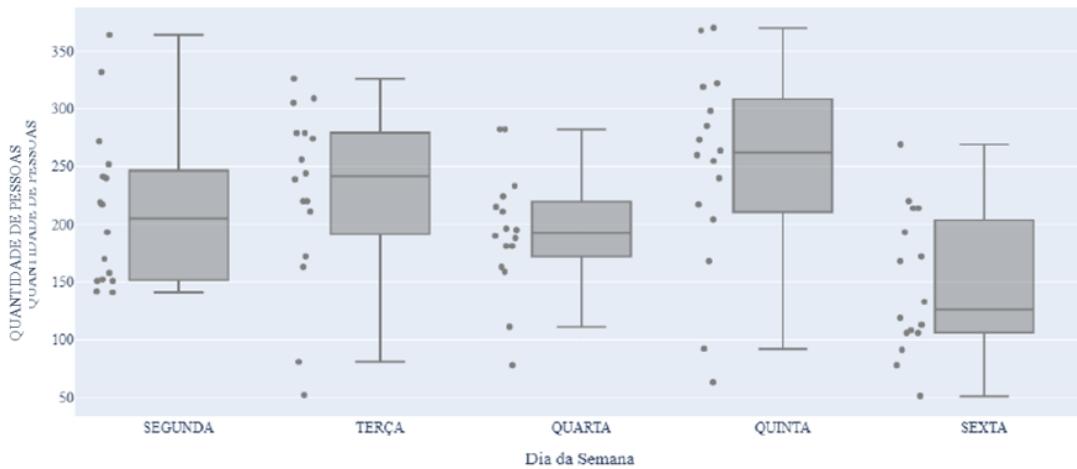
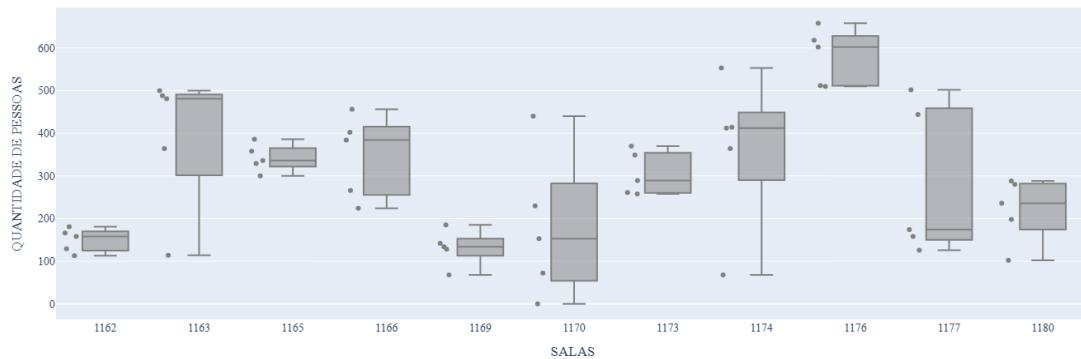


Figura 4: Variação da ocupação por sala de aula agregado por dia da semana.



A sala 1170 mostra uma ampla variação, com registros que vão de vazia durante a segunda-feira até bastante cheia, sugerindo uma alternância significativa no uso, que pode tornar difícil a adoção de um padrão fixo para fins de modelagem. Esse fato é curioso inclusive por ela ter uma capacidade intermediária em relação às outras. Algumas salas, como a 1165, 1166 e 1173, apresentam ocupações intermediárias com baixa dispersão, indicando um padrão de uso mais regular e previsível. Apesar de não ser possível determinar uma distribuição homogênea de ocupação, essas características tornam essas salas boas candidatas para representar um comportamento médio em simulações de fluxo, evacuação ou otimização do uso dos espaços.

## CONCLUSÕES

A análise desenvolvida neste estudo baseou-se em uma série de premissas necessárias para a consolidação de bases de dados referentes à exposição e vulnerabilidade humana no Campus Pampulha da UFMG. Entre elas, destaca-se a classificação dos ambientes por categorias, o que representa uma simplificação da realidade, uma vez que a nomenclatura dos espaços nem sempre reflete com precisão seu uso efetivo ou sua lotação ao longo do dia. As considerações adotadas para estimar a presença de alunos de graduação no horário de pico da manhã foram aproximadas e conservadoras, mas não contemplam a variabilidade horária e semanal da frequência estudantil, tratando a população como um retrato fixo.

A vinculação dos cursos a prédios específicos tampouco reflete adequadamente a complexa dinâmica da vida acadêmica, marcada pela multidisciplinaridade dos currículos e pela necessidade de deslocamentos frequentes entre diferentes edificações. Por outro lado, a análise específica da amostra de salas da Escola de Engenharia revelou o grande potencial de aprofundamento do conhecimento sobre a dinâmica temporal de ocupação dos edifícios ao longo dos dias da semana.

Adicionalmente, não foi possível incluir na caracterização populacional os estudantes de pós-graduação, devido à ausência de dados públicos e à falta de retorno às solicitações encaminhadas à Pró-Reitoria de Pós-Graduação (PRPG). As limitações relacionadas à dinâmica espacial e temporal de trabalhadores terceirizados, bem como de ocupantes temporários de espaços comuns, lanchonetes e outras áreas, reforçam a importância de se desenvolver planos de evacuação flexíveis e abrangentes, que considerem diferentes zonas do campus.

Fica evidente, portanto, a necessidade de um mapeamento mais preciso da rotina das populações do campus, o que pode ser viabilizado por meio de entrevistas com estudantes, gestores das equipes terceirizadas ou pela integração com sistemas institucionais de gestão de pessoal.

Apesar das limitações mencionadas, o estudo proporcionou avanços relevantes na caracterização da exposição e vulnerabilidade da população do campus Pampulha da UFMG a inundações. Foi possível estimar, com base em dados institucionais e em trabalho de campo, um total

de 9.044 pessoas potencialmente expostas em diferentes unidades acadêmicas, bem como identificar a distribuição por faixa etária, incluindo a parcela da população com 65 anos ou mais.

Essas premissas, embora metodologicamente necessárias, impõem restrições à representação da real ocupação do campus, especialmente diante de sua natureza altamente dinâmica. Considerando que tanto o perigo quanto a população variam significativamente no tempo e no espaço, é fundamental reconhecer tais simplificações ao interpretar os resultados e suas implicações para o planejamento de ações de emergência. A escassez de dados dinâmicos e integrados sobre a presença populacional no campus não é uma particularidade deste estudo, sendo uma limitação recorrente em avaliações de risco urbano, o que leva à adoção de estimativas estáticas baseadas em censos ou cadastros institucionais (Li et al., 2023).

Nesse contexto, esta pesquisa representa um passo inicial, ressaltando a importância de aprimorar os sistemas de monitoramento e desenvolver estratégias mais precisas para o mapeamento da vulnerabilidade e a gestão do risco de desastres em ambientes universitários.

Por fim, destaca-se que a análise da exposição e vulnerabilidade material a inundações também é essencial. O estudo de Santos et al. (2025), que aborda esse aspecto para o mesmo caso analisado neste trabalho, evidencia o potencial dos inventários detalhados como ferramenta complementar de avaliação.

## REFERÊNCIAS

- ABOELATA, M. A.; BOWLES, D. S. LIFESim: a model for estimating dam failure life loss. Instituto de Recursos Hídricos, Corpo de Engenheiros do Exército dos Estados Unidos e Comitê Nacional Australiano de Grandes Barragens. 2005
- LI, Lujing; ZHANG, Zhiming; QI, Xiaotian; ZHAO, Xin; HU, Wenhan; CAI, Ran. Spatiotemporal Urban Waterlogging Risk Assessment Incorporating Human and Vehicle Distribution. *Water*, Basileia, v. 15, n. 19, p. 3452, set. 2023. DOI: 10.3390/w15193452.
- MATOS, A. C. DE S.; ELEUTÉRIO, J. C. ABRHidro - ANAIS - ANÁLISE DE PERDAS DE VIDAS ASSOCIADAS À RUPTURA HIPOTÉTICA DA BARRAGEM DE FUNDÃO. 2019. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=5482>>. Acesso em: 18 fev. 2025.
- Messner, F., & Meyer, V. (2006). Flood damage, vulnerability and risk perception – challenges for flood damage research. *Flood Risk Management*, 1(2), 82-89.
- MERZ, B. et al. Review article “Assessment of economic flood damage”. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 10, n. 8, p. 1697–1724, 18 ago. 2010.
- NASCIMENTO, M. A. G. et al. ABRHidro - ANAIS - APLICAÇÃO DO HEC-RAS 2D E LIFESIM PARA MODELAGEM HIDRODINÂMICA E ESTIMATIVA DE PERDAS DE VIDA ASSOCIADAS À RUPTURA DA BARRAGEM B-I. 2023. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15586>>. Acesso em: 21 jan. 2025.
- NASCIMENTO, N. O.; ELLIS, J. B.; BAPTISTA, M. B.; DEUTSCH, J. C. Using detention basins: operational experience and lessons. *Urban Water*, v.1, 1999, p. 113-124. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1462075800000091>. Acesso em: 12 abr. 2020.
- PAIXÃO, P. Mostra Sua UFMG recebe 30 mil pessoas no campus Pampulha neste sábado. 2024. Disponível em: <<https://www.itatiaia.com.br/cidades/2024/05/24/mostra-sua-ufmg-recebe-30-mil-pessoas-em-evento-no-campus-pampulha-neste-sabado>>. Acesso em: 5 mar. 2025.

SAADI, A.; MACHADO, M. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG. Análise espacial do sistema de tráfego no Campus Pampulha da UFMG, dez. 2011.

SANTOS, Larissa Nunes; CARDOSO, Julian Eleutério; ASSIS, Thiago de Almeida; ROCHA, Viviane Borda Pinheiro. Análise de exposição e vulnerabilidade de patrimônio imóvel e móvel a inundações: o caso do campus da Universidade Federal de Minas Gerais (Em revisão). XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2025.

SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C. Analysis of flood warning and evacuation efficiency by comparing damage and life-loss estimates with real consequences related to the São Francisco tailings dam failure in Brazil. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, v. 23, n. 9, p. 3095–3110, 25 set. 2023.

SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. DE O. Vulnerabilidade da população ao risco de inundaçāo relacionado à barragem da lagoa da Pampulha – MG, ABRHidro – ANAIS - 2021a. Disponível em: <<https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=13488>>. Acesso em: 19 jan. 2025.

SILVA, A. F. R. DA. Análise da aplicabilidade de modelos de estimativa de perdas de vidas para inundações provenientes de rupturas de barragens de rejeitos. 4 mar. 2020.

SMITH, C.; COCKINGS, S.; MARTIN, D. Spatio-temporal population modelling for enhanced assessment of urban exposure to flood risk. *Applied Geography*, v. 63, p. 193–204, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.011>.

SUDECAP. PLANO DE AÇÃO EMERGENCIAL – PAE Barragem Engenho Nogueira. Belo Horizonte, 2022.

SUDECAP. Plano de Segurança de Barragens – Volume v – Bacia de detenção engenho nogueira. Belo Horizonte. 2021.

UFMG. Sem idade para aprender. 2024. Disponível em: <https://transite.fafich.ufmg.br/sem-idade-para-aprender/>. Acesso em: 4 maio 2025.

**AGRADECIMENTOS** - Os autores agradecem à CNPq, à CAPES, à FAPEMIG, e à PRPq/UFMG pelo apoio e incentivo à pesquisa. Também agradecem aos órgãos da UFMG e da Prefeitura de Belo Horizonte pelo fornecimento das bases de dados utilizadas nessa pesquisa.