

ESCOAMENTO EM ESCADARIAS DRENANTES: REVISÃO E ANÁLISE DE ASPECTOS HIDRÁULICOS E DE USO

Pedro Rocha Farias¹; Daniel Castro Hora Fontes¹; Juliane Grasiela de Carvalho Gomes¹; Leandro do Rozário Teixeira²; Luís Gustavo Macêdo West¹; Luciano Matos Queiroz¹; Iuri Muniz Pepe²; Harry Edmar Schulz³; Rodrigo de Melo Porto⁴; André Luiz Andrade Simões¹

RESUMO – Escadarias implantadas em áreas urbanas de forte declividade frequentemente desempenham funções simultâneas de circulação de pedestres e condução do escoamento superficial, especialmente durante eventos de precipitação. Nessas condições, a interação entre o escoamento e o usuário passa a constituir um aspecto relevante, influenciando tanto o desempenho hidráulico quanto as condições de uso dessas estruturas relacionadas à segurança dos transeuntes. Este trabalho tem como objetivo apresentar o estado da arte sobre escoamentos em escadarias drenantes, abordando estudos relacionados ao comportamento hidráulico em geometrias com degraus, à modelagem numérica desses escoamentos e aos critérios associados à estabilidade de indivíduos submetidos aos efeitos do movimento das águas. A revisão foi conduzida a partir de buscas em bases de dados científicas, incluindo artigos, teses e trabalhos técnicos, organizados em grupos temáticos. Os resultados indicam que, embora registrem-se avanços significativos na compreensão do escoamento em canais em degraus e na aplicação de modelos numéricos, persistem limitações na representação de geometrias reais e na integração entre aspectos hidráulicos e condições de uso. Adicionalmente, observa-se que fatores associados ao contexto urbano, como adaptações construtivas e condições de convivência, influenciam o funcionamento dessas estruturas. Conclui-se que há necessidade de abordagens integradas que considerem simultaneamente a hidrodinâmica do escoamento e os condicionantes associados ao uso cotidiano desses equipamentos urbanos, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais adaptadas às condições observadas em campo.

Palavras-Chave – Escadaria drenante; canal em degraus; drenagem urbana; escala real.

ABSTRACT– Stairways in steep urban areas often operate under dual and competing roles, serving both for pedestrian circulation and for surface runoff conveyance during rainfall events. Under such conditions, the interaction between the water flow and the user constitutes a relevant aspect that implies in safety concerns for the intended combined use of the structure. This paper presents a structured review of the literature on flow behaviour in drainage staircases, with emphasis on three complementary aspects: hydraulics of stepped flows, numerical modelling approaches, and criteria for human stability in moving water. The review is based on a systematic survey of journal articles, conference papers, and academic theses, organized into thematic groups to enable a critical synthesis of current knowledge. The analysis shows that, while stepped flow hydraulics is well established in the context of spillways, its direct application to urban staircases remains limited, particularly due to existing irregular geometries and real-world using conditions. In parallel, studies on human stability provide useful thresholds but are seldom integrated into design-oriented approaches. The findings highlight the need for physically consistent frameworks that simultaneously address flow dynamics and user interaction, especially in urban environments where operational, structural, and social constraints are tightly coupled.

Key-words – drainage staircases; stepped flow; human stability.

1) Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia (UFBA), Rua Prof. Aristides Novis, 02 - Federação, Salvador - BA, 40210-630, pedrorochafarias@gmail.com (autor para contato)

2) Instituto de Física da UFBA, Rua Barão de Jeremoabo s/n, Campus Universitário de Ondina, Salvador - BA, Brasil CEP: 40170-115

3) Auburn University, 222 Harbert Center, Auburn, Alabama 36849.

4) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro, São Carlos - SP, CEP 13566-590.

INTRODUÇÃO

Escadarias implantadas em áreas urbanas de forte declividade desempenham, na maioria dos casos, uma função dupla, atuando simultaneamente como via de circulação de pedestres e como elemento de condução do escoamento superficial. Em períodos de chuva, essa sobreposição de funções tende a se intensificar, uma vez que a água escoada passa a ocupar parcial ou totalmente a superfície dos degraus com velocidade e altura capazes de interferir de forma significativa nas condições de mobilidade urbana.

Observações em campo indicam que, nessas condições, o escoamento pode apresentar elevada variabilidade espacial, com regiões de aceleração, recirculação e impacto associadas à geometria dos degraus. Em determinadas situações, a lâmina escoada atinge toda a largura da escadaria, eliminando áreas seguras para circulação humana. Esse comportamento evidencia que o problema não se restringe à drenagem, mas envolve também a interação entre o escoamento e o usuário.

Estruturas conhecidas como escadarias drenantes foram desenvolvidas com o objetivo de mitigar esse tipo de situação, permitindo a condução do escoamento ao mesmo tempo em que se preserva a função de acesso. Entretanto, a experiência prática mostra que o desempenho dessas estruturas depende fortemente da sua configuração geométrica e das condições locais de implantação, não sendo incomum a ocorrência de adaptações que alteram significativamente o seu funcionamento original (Mangieri, 2012).

Nesse contexto, a compreensão do comportamento do escoamento nesse tipo de estrutura torna-se um aspecto relevante para a sua avaliação e eventual aprimoramento. Particularmente, a presença de descontinuidades geométricas, como variações de direção em planta, pode introduzir efeitos adicionais não contemplados em análises simplificadas, incluindo redistribuição transversal de velocidades e intensificação de estruturas vorticosas.

Diante disso, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão da literatura sobre escoamentos em escadarias drenantes, abrangendo estudos relacionados ao comportamento hidráulico em geometrias com degraus, à modelagem numérica desses escoamentos e aos critérios associados à estabilidade de indivíduos submetidos ao escoamento. Busca-se, com isso, organizar o estado atual do conhecimento, identificar limitações existentes e evidenciar lacunas que possam orientar o desenvolvimento de estudos futuros voltados à análise dessas estruturas em condições reais.

MATERIAL E MÉTODOS

A revisão da literatura foi conduzida a partir de buscas em diversas bases de dados, incluindo (i) bases científicas, como: Scopus, Web of Science e Google Scholar; (ii) bibliotecas digitais de

teses, dissertações e trabalhos de conclusão de curso, além de (iii) anais de eventos científicos. Foram utilizadas combinações de palavras-chave relacionadas ao tema, tais como “stairs hydraulic behaviour”, “flooded stairs”, “drainage staircase”, “urban runoff stairs” e “human stability in flow”, “escadarias drenantes”, “escada drenante”, “escada hidráulica”, e variantes, sempre associando os trabalhos encontrados a escadarias em ambientes urbanos, formando uma clara distinção entre estes e os vertedouros em degraus.

Foram considerados trabalhos publicados preferencialmente a partir do ano de 2000, incluindo artigos de periódicos, trabalhos em congressos e dissertações e teses relevantes para o tema. Os vinte e quatro estudos encontrados foram classificados de acordo com sua abordagem principal, incluindo investigações experimentais, modelagem numérica e análises voltadas à estabilidade de indivíduos sujeitos aos efeitos de escoamentos de água. A partir dessa seleção, os trabalhos foram organizados nos grupos temáticos já mencionados, permitindo a análise comparativa dos avanços e limitações existentes na literatura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os registros encontrados na literatura sobre o tema deste trabalho demonstram que o processo de ocupação urbana em áreas de encosta tem levado à consolidação de bairros caracterizados por elevada declividade, nos quais a mobilidade e a drenagem superficial passam a constituir problemas interdependentes. Em cidades como Salvador, Bahia, esse cenário resultou na concepção de estruturas conhecidas como escadarias drenantes, cuja função consiste em permitir o acesso de pedestres ao mesmo tempo em que promovem o escoamento das águas pluviais. Desde a sua introdução no final da década de 1970 (Mangieri, 2012), essas estruturas vêm sendo modificadas com o objetivo de mitigar falhas hidráulicas e estruturais observadas ao longo do tempo, sem que, contudo, tenha sido estabelecida uma metodologia sistemática de análise e dimensionamento que contemple simultaneamente os aspectos hidráulicos e as condições de uso experimentadas pelos transeuntes.

GRUPO TEMÁTICO 1: A FÍSICA DO ESCOAMENTO

Sob o ponto de vista da mecânica dos fluidos, o escoamento sobre escadarias drenantes pode ser interpretado como um caso que apresenta semelhanças em relação ao escoamento em canais em degraus. Esses escoamentos têm sido amplamente estudados na literatura, especialmente no contexto de vertedouros em degraus, nos quais se identificam diferentes regimes, como o escoamento em quedas sucessivas (*nappe flow*), o regime de transição e o escoamento deslizante sobre turbilhões (*skimming flow*) (Horner, 1969; Sorensen, 1985). A caracterização desses regimes e a previsão de

grandezas como dissipação de energia, distribuição de pressões e estruturas vorticosas têm sido objeto de estudos experimentais desde o trabalho de Horner (1969) e numéricos via CFD (*Computational Fluid Dynamics*) desde o início dos anos 2000, com contribuições relevantes mais recentes que utilizam abordagens eulerianas para a água e o ar por meio de modelos multifásicos e com turbulência modelada a partir das equações de Navier-Stokes com médias de Reynolds (Chen *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2004; Tabbara *et al.*, 2005; Arantes & Porto, 2005; Bombardelli *et al.*, 2010; Simões, 2012). Historicamente, entretanto, há registros de desenhos (esquemas gráficos) feitos por Leonardo da Vinci e evidências arqueológicas que indicam o interesse pelo tema desde tempos antigos.

GRUPO TEMATICO 2: SIMULACAO NUMERICA E DETALHAMENTO

Com o avanço da dinâmica dos fluidos computacional, diversos trabalhos passaram a empregar modelos de turbulência de duas equações para simular escoamentos em canais em degraus, frequentemente obtendo boa concordância com dados experimentais para grandezas médias, como posição da superfície livre e dissipação de energia (Qian *et al.*, 2009; Carvalho & Martins, 2009, Simões *et al.*, 2011). Entretanto, revisões recentes indicam que ainda não há consenso quanto à representação físico-matemática adequada desses escoamentos, particularmente em relação à interação entre a superfície livre, a aeração (inserção de ar no escoamento) e as estruturas vorticosas. Isto ocorre até mesmo para os estudos de vertedouros em degraus, o que implica limitações ainda mais relevantes na extrapolação dos resultados para geometrias compostas, como canais com curvas e outros obstáculos (Lima *et al.*, 2023).

No contexto específico das escadarias drenantes, estudos mais recentes têm buscado aplicar as metodologias anteriormente descritas para avaliar o desempenho hidráulico dessas estruturas. Trabalhos desenvolvidos ao longo da última década demonstraram a possibilidade de simular o escoamento em geometrias representativas, incluindo a estimativa de forças hidrodinâmicas sobre obstáculos posicionados nos degraus e a análise da eficiência de sistemas de drenagem associados (Simões *et al.*, 2015; Rodrigues, 2018; Rodrigues *et al.*, 2020). Esses estudos também evidenciaram problemas recorrentes, como baixa eficiência de captação de água por grelhas, acúmulo de sedimentos e falhas estruturais decorrentes de pressões elevadas em sistemas de drenagem subsuperficial (Mangieri, 2012; Rodrigues *et al.*, 2020).

GRUPO TEMATICO 3: SEGURANÇA HUMANA

Paralelamente, uma linha de pesquisa independente tem se desenvolvido com foco na estabilidade do corpo humano em escoamentos, na qual critérios baseados em forças de arrasto,

momentos de tombamento e interação entre velocidade e profundidade do escoamento são utilizados para definir condições de instabilidade (Simões *et al.*, 2016; Ribeiro *et al.*, 2021). Estudos recentes têm aplicado essas abordagens a escoamentos em escadarias submetidas a eventos de inundação, identificando regiões críticas associadas à intensificação das forças hidrodinâmicas sobre o corpo humano e em situações envolvendo o ambiente de cidades (Li *et al.*, 2022; Uribe *et al.*, 2026). No entanto, tais investigações concentram-se majoritariamente em cenários de falha do sistema urbano, não contemplando a concepção de estruturas destinadas a evitar a interação direta entre o escoamento e os pedestres.

GRUPO TEMÁTICO 4: REALIDADE LOCAL

Mais recentemente foram propostas soluções geométricas voltadas à separação entre o escoamento superficial e o trânsito de pedestres, como a introdução de seções rebaixadas nos degraus para condução lateral da vazão. Tal abordagem visa eliminar problemas recorrentes relatados por moradores e que foram detalhadamente registrados por Mangieri (2012). Entre os problemas, há o trânsito de roedores através das grelhas de bocas de lobo instaladas sobre os patamares das escadas. O propósito inicial das grelhas era escoar de forma subsuperficial a água excedente que, de outro modo, competiria com os transeuntes. O trânsito de roedores através das grelhas e seu contato com a população compõe um problema de saúde pública. Adicionalmente, as escadas em geral estão situadas nas proximidades das casas e integram parte das áreas de convivência dos bairros. Mangieri (2012) menciona que o lazer de crianças que fazem uso desse espaço é comprometido pelo risco de acidentes com a presença das grelhas. Nesse caso trata-se de uma falha na previsão das dimensões a usar. As grelhas empregadas em grande parte das estruturas possuem aberturas maiores que o tamanho médio dos pés, gerando acidentes com ferimentos e torções. Como consequência, moradores adultos passaram a fechar as malhas (orifícios) de algumas grelhas comprometendo consequentemente a capacidade de drenagem das escadas, mas com a justificativa plausível de evitar os acidentes causados pela interação entre população e grelhas.

Conforme mencionado no parágrafo anterior, a distância entre a concepção de um projeto e a realidade local de sua instalação (parcial alienação da realidade) induziram o desenvolvimento de escadarias com trechos longitudinais rebaixados (ver Lima *et al.*, 2023, e Menezes *et al.*, 2025). Foram realizadas simulações numéricas e seus resultados demonstraram a capacidade dessa abordagem em desviar grande parte do escoamento, deixando uma parte da escada livre para o trânsito de pessoas mesmo em situações de maiores vazões (chuvas). Resultados obtidos por meio de simulações numéricas tridimensionais indicam que tais configurações podem alcançar elevada

eficiência na segregação do escoamento, mantendo regiões livres para circulação dos transeuntes, além de reduzir o risco de instabilidade humana quando avaliadas com base em critérios existentes na literatura (Simões *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2023; Menezes *et al.*, 2025). Ainda assim, essas abordagens têm sido aplicadas predominantemente a geometrias idealizadas, geralmente retilíneas, não contemplando a complexidade geométrica frequentemente observada em escadarias reais.

Considerando o contexto dos parágrafos deste item e as observações dos quatro grupos temáticos aqui revistos, mostrados no Quadro 01, observa-se que permanece uma lacuna relevante no que se refere à análise integrada de escoamentos em escadarias drenantes reais, particularmente aquelas inseridas em ambientes urbanos consolidados, onde a geometria apresenta irregularidades, variações de declividade e mudanças de direção, como curvas em planta. Essas características resultam em efeitos adicionais, como redistribuição transversal de velocidades, intensificação de estruturas vorticosas e possíveis concentrações locais de energia, que não são capturados em modelos simplificados.

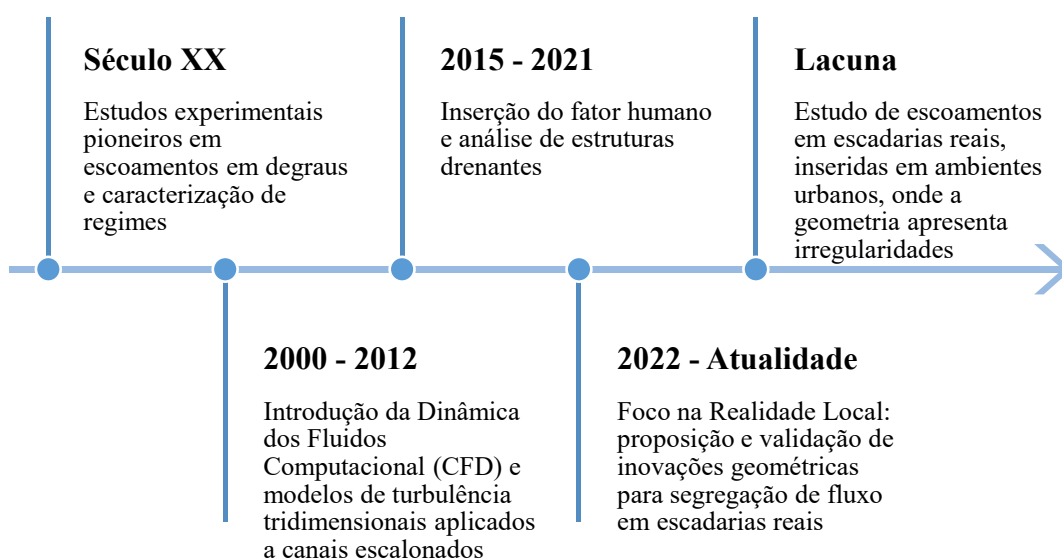
Quadro 01 – Síntese da Revisão

Referências	Grupo Temático	Principais Contribuições
Horner (1969) e Sorensen (1985)	Física do Escoamento	Caracterização experimental dos regimes (<i>nappe</i> , transição e <i>skimming</i>) e previsão da dissipação de energia, distribuição de pressões e estruturas vorticosas.
Chen <i>et al.</i> (2002), Chen <i>et al.</i> (2004), Tabbara <i>et al.</i> (2005), Arantes & Porto (2005), Bombardelli <i>et al.</i> (2010) e Simões (2012)	Física do Escoamento	Aplicação de modelos de turbulência e abordagens multifásicas para escoamentos em degraus
Qian <i>et al.</i> (2009), Carvalho & Martins (2009) e Simões <i>et al.</i> (2011)	Simulação Numérica e Detalhamento	Validação experimental dos modelos CFD, com boa concordância para superfície livre e dissipação de energia.
Simões <i>et al.</i> (2015), Rodrigues (2018) e Rodrigues <i>et al.</i> (2020)	Simulação Numérica e Detalhamento	Simulações para o contexto de escadarias drenantes, avaliando a eficiência de sistemas de drenagem subsuperficial e forças hidrodinâmicas sobre obstáculos
Simões <i>et al.</i> (2016) e Ribeiro <i>et al.</i> (2021)	Segurança Humana	Avaliação da estabilidade humana em escoamento através do estabelecimento de critérios baseados em forças de arrasto, momentos de tombamento e interação entre velocidade e profundidade do escoamento
Li <i>et al.</i> (2022) e Uribe <i>et al.</i> (2026)	Segurança Humana	Análise da instabilidade humana em cenários de inundação, identificando regiões críticas associadas à intensificação das forças hidrodinâmicas sobre o corpo humano e em situações envolvendo o ambiente urbano
Mangieri (2012)	Simulação Numérica e Detalhamento e Realidade Local	Identificação da distância entre projeto e execução, documentando falhas operacionais, problemas de saúde pública (roedores) e riscos de acidentes com grelhas inadequadas
Simões <i>et al.</i> (2020), Lima <i>et al.</i> (2023) e Menezes <i>et al.</i> (2025)	Realidade Local	Inovações geométricas (canais longitudinais rebaixados) via CFD para segregação de fluxo, visando garantir áreas secas para circulação segura

Fonte: Autoria própria, 2026.

Com o objetivo de sintetizar a evolução do conhecimento na área, a Figura 01 apresenta uma linha do tempo com os principais marcos identificados na literatura. Essa representação permite visualizar a progressão das pesquisas, facilitando a compreensão do estado da arte sobre escadarias drenantes.

Figura 01 – Linha do Tempo



Fonte: Autoria própria, 2026.

CONCLUSÕES

A revisão da literatura evidencia que houve avanços significativos na compreensão dos escoamentos em canais em degraus, especialmente quanto à caracterização dos regimes de escoamento, ao desenvolvimento de modelos numéricos e à avaliação da estabilidade humana. Mais recentemente, estudos direcionados às escadarias drenantes têm proposto soluções geométricas para separar o escoamento superficial da circulação de pedestres, demonstrando potencial para aumentar simultaneamente a eficiência hidráulica e a segurança dos usuários.

Apesar desses avanços, a literatura ainda carece de abordagens que integrem, de forma sistemática, os aspectos hidráulicos, operacionais e sociais envolvidos no funcionamento das escadarias drenantes. A presente revisão evidencia essa lacuna ao organizar o conhecimento disponível e destacar a necessidade de metodologias de projeto que considerem as condições reais de uso dessas estruturas, contribuindo para o desenvolvimento de soluções mais seguras e adequadas ao contexto urbano.

REFERÊNCIAS

- ARANTES, E. J.; PORTO, R. M. (2005). Simulação do escoamento sobre vertedores em degraus via CFD. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16, 2005, João Pessoa, **Anais...** Porto Alegre: ABRH: 2005. 18p.
- BOMBARDELLI, F.A.; MEIRELES, I.; MATOS, J. (2010). Laboratory measurements and multi-block numerical simulations of the mean flow and turbulence in the non-aerated skimming flow region of steep stepped spillways. *Environ. Fluid Mech.*, Vol.11(3), pp.263-288. Publisher: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s10652-010-9188-6>.
- CARVALHO, R.F.; MARTINS, R. (2009). Stepped Spillway with Hydraulic Jumps: Application of a Numerical Model to a Scale Model of a Conceptual Prototype. *ASCE, Journal of Hydraulic Engineering*. v.135, No.7, p.615-619, July. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000042](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000042)
- CHEN, Q.; DAI, G.; LIU, H. (2002). Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway overflow. **Journal of Hydraulic Engineering**, v.128, n.7, p.683-688, July, 2002. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:7\(683\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:7(683)).
- CHEN, QUN; GUANG-QING, DAI; ZHU, FEN-QING; QING, YANG. (2004). Three-dimensional turbulence numerical simulation of a stepped spillway overflow. **Journal of Hydrodynamics**, Ser. B, 1, 74-79. China Ocean Press, Beijing.
- HORNER, M.W. (1969). An analysis of flow on cascades of steps. 1969. Tese (Doutorado) – Universidade de Birmingham, UK.
- LI, Q.; XIA, J.; XIE, Z.; ZHOU, M.; DENG, S. Hazard and vulnerability in urban inundated underground space: hydrodynamic analysis of human instability for stairway evacuation. *Int. J. Disaster Risk Reduction*, v. 70, 2022.
- LIMA, L. M.; SIMÕES, A. L. A.; QUEIROZ, L.M.; LUZ, L.D.; SCHULZ, H.E.; PORTO, R.M.. Proposição de uma escadaria com drenagem associada: estudo numérico via dinâmica dos fluidos computacional. *Revista DAE*, 2023.
- MANGIERI, L.S.G. (2012). Avaliação dos sistemas de escadarias e rampas drenantes implantadas em assentamentos espontâneos na cidade do Salvador – Bahia. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2012.

MENEZES, P.C.; SIMÕES, A.L.A.; QUEIROZ, L.M.; ARCANJO, G.S.; SCHULZ, H.E.; PORTO, R.M.. A new drainage staircase design for separating pedestrian traffic and surface runoff: a numerical and conceptual approach. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 30, 2025, e30. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520240137>

QIAN, ZHONGDONG; HU, XIAOQING; HUAI, WENXIN; AMADOR, ANTÔNIO (2009). Numerical simulation and analysis of water flow over stepped spillways. *Science in China Series E: Technological Sciences*, v.52(7), pp.1958-1965. <https://doi.org/10.1007/s11431-009-0127-z>

RIBEIRO, H. B., SIMÕES, A. L. A., LUZ, L. D., MANGIERI, L. S. G., & SCHULZ, H. E. (2021). Stability of solids in stepped flume nappe flows: subsidies for human stability in flows. *Journal of Applied Fluid Mechanics*, 14, 681-690.

RODRIGUES, I.M. (2018). Simulação numérica de escoamento em escadaria drenante. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal da Bahia. Escola Politécnica, 2008.

RODRIGUES, I. M., SIMÕES, A. L. A., LUZ, L. D., QUEIROZ, L. M., & MANGIERI, L. S. G. (2020). Estudo numérico do desempenho de uma escadaria com drenagem subsuperficial empregando tubulação. In *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas* (Vol. 1, pp. 1-10). Porto Alegre: ABRHydro.

Simões, A. L. A., Schulz, H. E., Lobosco, R. J., & Porto, R. M. (2011). Stepped spillways: theoretical, experimental and numerical studies. In H. E. Schulz, A. L. A. Simões, & R. J. Lobosco (Eds.), *Hydrodynamics: natural water bodies* (pp. 237-262). London: InTechOpen.

SIMÕES, A. L. A. (2012). Escoamentos turbulentos em canais com o fundo em degraus: Resultados experimentais, soluções numéricas e proposições teóricas. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SIMÕES, A.L.A.; SCHULZ, H. E.; PORTO, R. M.; LUZ, L. D.; MANGIERI, L. S. G.; MATOS, J. E. R.. Contribuição numérica para o estudo de escoamentos em quedas sucessivas e aplicações à drenagem. In: XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015, Brasília. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2015. v. 1. p. 1-8. **Anais...**

SIMÕES, A. L. A., SCHULZ, H. E., & LUZ, L. D. (2016). Dimensionless formulation for human stability in open flows. *Revista Brazilian Journal of Water Resources*, 21(4), 666-673. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.011616019>.

SIMÕES, A. L. A., MENEZES, P., LIMA, L., SCHULZ, H. E., & PORTO, R. M. (2020). Concepção de uma escadaria drenante com canal central rebaixado empregando simulações numéricas. In *Anais do XIII Encontro Nacional de Águas Urbanas* (pp. 1-12). Porto Alegre: ABRHidro.

SORENSEN, R.M. (1985). Stepped spillway hydraulic model investigation. *Journal of Hydraulic Engineering*, v.111, n.12, p. 1461-1472. Dec.. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:12\(1461\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:12(1461))

TABBARA, M.; CHATILA, J.; AWWAD, R. (2005). Computational simulation of flow over stepped spillways. **Computers and Structures** **83**, 2215-2224.

<https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2005.04.005>

URIBE, C.H.A.; RUSSO, B.; TÉLLEZ-ÁLVAREZ, J.; MARTÍNEZ-GOMARIZ, E. Hydraulic modelling and pedestrian hazard assessment on underground access stairs: the Paral·lel metro station case study in Barcelona. *Journal of Flood Risk Management*, v. 19, n. 1, 2026, e70198. DOI: <https://doi.org/10.1111/jfr3.70198>.

AGRADECIMENTOS – Os autores agradecem ao CNPq (processo nº 404127/2025-8) pelo suporte financeiro, à CAPES, código 001 e processos 88881.708215/2022-01 e 88881.691452/2022-01, do PPG Meio Ambiente, Águas e Saneamento da UFBA.