



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

MODELOS PARA ANÁLISE DE TRANSIENTES HIDRÁULICOS EM REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: UMA REVISÃO DE LITERATURA

Maria Augusta da Silva¹; Myreide Marinez da Silva²; Cláudio Henrique Milfont de Magalhães³ & Sabrina da Silva Corrêa Raimundo⁴

Palavras-chave: golpe de aríete; inteligência artificial; Método das características; *Physics-Informed Neural Networks*.

INTRODUÇÃO

Transientes hidráulicos ocorrem em sistemas de distribuição de água devido a variações rápidas de vazão e pressão, resultantes de manobras em válvulas, desligamento de *boosters* e bombas ou alterações em reservatórios (Campos; Barbosa; Silva, 2024). Além de impactar a integridade das tubulações, esses eventos podem mobilizar partículas, metais e biofilmes aderidos às superfícies internas, comprometendo a qualidade da água, visto que contaminantes podem penetrar na tubulação, através dos pontos de vazamentos que são induzidos por pressões baixas ou até negativas devido ao transiente hidráulico (Jung; Karney, 2006; Santana, 2024).

A modelagem precisa desses fenômenos é essencial para a segurança e eficiência operacional dos Sistemas de Distribuição de Água Potável (SDAP). A complexidade dos transientes torna necessária a utilização de modelos que combinem rigor físico com capacidade de predição em cenários reais. Entre as abordagens mais comuns estão os métodos experimentais em escala real, métodos numéricos clássicos, como o Método das Características, Método das Ondas Planas e o Método das Diferenças Finitas, esquemas baseados em volumes finitos, modelos de CFD 3D e métodos recentes como Redes Neurais Informadas por Física. Neste contexto, faz-se necessária a análise dos transientes a fim de proteger os sistemas hidráulicos e garantir bom funcionamento deles (Santana, 2024).

Diante do exposto, este artigo teve como objetivo analisar os modelos para a análise hidráulica no escoamento transiente e os métodos numéricos utilizados nesta análise em redes de distribuição de água. Para isso, realizou-se uma revisão sistemática de literatura, na qual, por meio da identificação, seleção e avaliação crítica de diversos artigos científicos buscou-se sintetizar o conhecimento na área.

METODOLOGIA

Com o propósito de compreender e analisar os modelos de análise hidráulica no escoamento transiente e os métodos numéricos utilizados nesta análise em redes de

¹) Graduanda em Engenharia Hídrica na UFRPE – UABJ. Rodovia PE166, 100, Belo Jardim/PE. mariaaugusta.silva@ufrpe.br.

²) Graduanda em Engenharia Hídrica na UFRPE – UABJ. Rodovia PE166, 100, Belo Jardim/PE. myreide.marinez@ufrpe.br.

³) Doutorando em Engenharia Civil na UFPE; Diretor Técnico-Comercial da Water Gold Engenharia – claudio.milfont@wg.eng.br.

⁴) Professora Assistente da UFRPE – UABJ. Rodovia PE166, 100, Belo Jardim/PE. sabrina.correa@ufrpe.br.

distribuição de água, uma pesquisa bibliográfica foi realizada, fundamentada no método *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analysis* (PRISMA), que se divide em quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (Raimundo *et al.*, 2025). Alguns estudos aplicaram essa metodologia para abordar diversas temáticas, visando à sistematização de trabalhos (Lima *et al.*, 2019).

Inicialmente, a busca pelos artigos foi realizada na plataforma Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os termos-chave “Hydraulic Transients” e “Water Distribution Network” foram utilizados com o operador booleano “and”, encontrando 168 resultados com acesso aberto entre os anos de 200 e 2025. Em seguida, os títulos e informações adicionais foram exportados para análise no *software* Excel.

Na segunda etapa da elegibilidade, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos dos artigos, tendo sido aplicados critérios de seleção baseados em dois questionamentos:

1. O estudo está em concordância com o tema abordado?
2. O estudo apresentou resultados de análise hidráulica de escoamento transientes em redes de distribuição de água?

RESULTADOS

A análise do transientes hidráulico consta em representar as variáveis dependentes pressão e velocidade, que ocorrem no sistema hidráulico durante os eventos de escoamento transitório, em função das variáveis independentes tempo e posição. Assim, surge a necessidade de utilizar uma matemática mais complexa do que aquela utilizada para regime permanente em virtude do acréscimo da variável independente tempo (Streeter; Wylie, 1978).

A respeito dos métodos computacionais, diversos descrevem diferentes metodologias para tratamento matemático do transientes hidráulico, dentre os quais se destacam métodos de diferenças finitas, métodos de elementos finitos, Ondas Planas e o Método das Características, o qual se baseia em um esquema explícito de diferenças finitas e corresponde ao melhor método devido à sua simplicidade, facilidade de programação e seus bons resultados (Chaudhry, 2014; Magalhães, 2018).

Wu *et al.* (2015) apresentam a aplicação de um modelo CFD (Computational Fluid Dynamics – fluidodinâmica computacional) acoplado a um modelo baseado no Método das Características para estudar os efeitos do golpe de aríete em uma bomba devido ao rápido fechamento de uma válvula. Dessa forma, o modelo CFD proporcionou o detalhamento à dinâmica do fluido através da bomba, havendo uma maior aproximação da realidade em relação aos valores de velocidades e pressões dentro da bomba, enquanto que os condutos e a válvula foram modeladas através do Método das Características, proporcionando as condições de contorno necessárias à simulação da bomba.

O uso de computadores para resolução das equações que regem o fenômeno do transientes hidráulico teve início no ano de 1960. Diversos *softwares* foram desenvolvidos e utilizados para solucionar as equações que muitas vezes são impossíveis de serem resolvidas de forma analógica (Magalhães, 2018). São exemplos de ferramentas computacionais para a simulação dos transientes hidráulicos: Pípenet, Hammer, Hytran, Impulse, Wanda, FlowMaster, Surge 2000, LiQT e Allievi.

A maior parte das ferramentas citadas são baseadas no método das características. Este método é baseado na resolução de equações diferenciais unidimensionais de conservação de massa e quantidade de movimento, considerando a compressibilidade do fluido, elasticidade da tubulação e atrito. Esta abordagem emprega a interpolação ou ajuste da velocidade da onda nos tubos, visto que é impossível torná-las exatamente iguais em todos os tubos de um sistema complexo (Zhou, 2021). No entanto, o método das características tem alta precisão para calcular pressões e vazões ao longo da tubulação.

Atualmente, a inteligência artificial é uma tendência crescente que integra os princípios físicos às redes neurais, criando modelos capazes de reduzir erros numéricos e estimar parâmetros difíceis de medir. Ye (2022) mostram que diferentemente das abordagens puramente baseadas em dados, as PINNs (*Physics-Informed Neural Networks*) integram leis físicas subjacentes aos dados observados para viabilizar a resolução de equações diferenciais parciais não lineares. Devido à sua eficácia na modelagem de dinâmicas complexas sob condições de dados esparsos ou modelos incompletos, as PINNs têm sido amplamente adotadas em áreas como a Dinâmica dos Fluidos Computacional (CFD).

CONCLUSÕES

Conclui-se que a análise de transientes hidráulicos em redes de distribuição de água demanda a integração de diferentes abordagens de modelagem, cada uma contribuindo de forma complementar para a compreensão e a mitigação desses fenômenos. Ensaios experimentais fornecem bases essenciais para a validação dos modelos e para o entendimento dos processos físicos envolvidos, enquanto métodos numéricos clássicos, como o método das características e diferenças finitas, permanecem fundamentais para a simulação e o dimensionamento de sistemas hidráulicos, considerando o equilíbrio entre precisão e custo computacional.

Adicionalmente, técnicas emergentes, como as Redes Neurais Informadas por Física (PINNs), apresentam elevado potencial para aplicações em monitoramento inteligente e reconstrução de campos de pressão em regiões não instrumentadas. A integração dessas abordagens possibilita uma análise mais robusta e abrangente, contribuindo para a segurança estrutural das tubulações, a eficiência operacional e a manutenção da qualidade da água, ao incorporar a influência de transientes hidráulicos frequentemente negligenciados em projetos convencionais.

REFERÊNCIAS

- CAMPOS, A. L. B.; BARBOSA, J. L.; SILVA, W. T. P. Modelagem hidráulica do enchimento de tanque e transiente hidráulico em rede de distribuição de água. Engenharia aplicada e sustentabilidade: estudos de casos e soluções práticas na construção, hidráulica e meio ambiente. Editora Científica Digital, p. 68-84, 2024.
- Chaudhry, M. H. Applied Hydraulic Transients. 3ª edição. New York, EUA. 2014.
- JUNG, B. S.; KARNEY, B. W. Hydraulic Optimization of Transient Protection Devices Using GA and PSO Approaches. Journal of Water Resources Planning and Management, v. 132, n. 1, p. 44-52, 2006.

LIMA, A. C. D.; CUNHA, D. A.; ALBUQUERQUE, R. C.; COSTA, R. N. A.; SILVA, H. J. Sensory changes in mouth breathers: Systematic review based on the prisma method. *Revista Paulista de Pediatria*, v. 37, n. 1, p. 97-103, 2019.

MAGALHÃES, C. H. M. D. Tubos e dispositivos de segurança utilizados para minimizar os efeitos dos transientes hidráulicos em adutoras. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, 224p, 2018.

RAIMUNDO, S. S. C.; CIRILO, J. A.; FERREIRA, T. S. G.; CAVALCANTI, M. E. V.; BEZERRA, S. T. M. Literature review on hydrological modeling in semiarid regions. *Environmental & Social Management Journal/Revista de Gestão Social e Ambiental*, v. 19, n. 3, 2025.

SANTANA, LAURA AURORA. Dimensionamento ótimo de dispositivos de proteção contra transientes hidráulicos em adutoras por bombeamento. Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília, 96p, 2024.

Streeter, V. L.; Wylie, E. B. *Fluid Transientess*. McGraw-Hill. 1978.

WU, D.; YANG, S.; WU, P.; WANG, L. MOC-CFD Coupled Approach for the Analysis of the Fluid Dynamic Interaction between Water Hammer and Pump. *Journal of Hydraulic Engineering*, v. 141, n. 6, 2015.

YE, J; DO, C. N.; ZENG, W.; LAMBERT, M. Physics-informed neural networks for hydraulic transient analysis in pipeline systems. *Water Research*, v. 221, p. 118828, 2022.

ZHOU, LING; LI, YUNJIE; ZHAO, YAN; OU, CHUANQI; ZHAO, YUE. An accurate and efficient scheme involving unsteady friction for transient pipe flow. *Journal of Hydroinformatics*, v. 23, n. 4, p. 879–897, 2021.