Gestão:

Reunião de Acompanhamento e Avaliação - RAA 2026

# Identificação de vazamentos a partir de transientes hidráulicos

Fonseca, B. P. [1]; Castello, D. A.[2]; [1]Bolsista do PRH 08/UFRJ, curso de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: biabiaperec.20231@poli.ufrj.br [2]Docente do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ. E-mail: castello@mecanica.coppe.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

Tubulações e risers multicamadas são críticos na produção offshore de petróleo e gás, e seus vazamentos geram riscos operacionais e ambientais. Como os sinais transientes de pressão carregam informação sobre o estado da tubulação, a identificação de vazamentos pode ser tratada como um problema inverso, sem interromper a operação. Isso exige um modelo direto confiável, que em tubos multicamadas depende da interação fluido-estrutura, e o tratamento dos erros de modelo.

## OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é desenvolver uma metodologia para identificar vazamentos em tubulações e risers multicamadas a partir de sinais transientes de pressão, formulada como um problema inverso utilizando formulações Bayesianas aproximadas (Approximate Bayesian Computation - ABC). Busca-se também avaliar o impacto dos erros de modelo, como bolhas, diferentes tipos de escoamento e corrosão, sobre os resultados da inversão.

## METODOLOGIA

O objeto de estudo são tubulações com vazamento, representado por um furo na parede. A Figura 1 mostra uma configuração simples, usada para desenvolver e testar a metodologia.

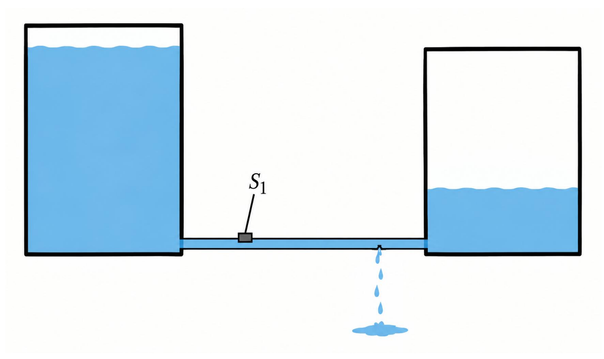



**Figura 1:** Esquema de dois reservatórios ligados por um tubo com vazamento.

A celeridade das ondas de pressão foi modelada para tubos de camada única [1, 2] e multicamadas, sem [3] e com [4] os efeitos de inércia da estrutura. O escoamento transiente foi simulado pelo Método das Características (MOC) [5], com condições de contorno nas extremidades da tubulação e no furo, e os resultados foram comparados com experimentos da literatura.

A identificação do vazamento foi formulada como um problema inverso Bayesiano [6, 7], resolvido por ABC-SMC (Approximate Bayesian Computation com Sequential Monte Carlo), que aproxima a distribuição a posteriori dos parâmetros do vazamento θ por:

$$\pi\left(\theta \middle| d\left(y, A(\theta)\right) \leq \epsilon\right) \propto \pi\left(d\left(y, A(\theta)\right) \leq \epsilon\right) \times \pi_0(\theta)$$

## RESULTADOS

O ABC-SMC foi aplicado a um tubo simples de camada única, estimando a posição e o diâmetro do furo a partir de um sinal de pressão sintético no sensor, gerado pelo MOC com ruído. As Figuras 2 e 3 mostram a evolução das distribuições a posteriori ao longo das gerações do ABC-SMC. À medida que a tolerância diminui, as distribuições se estreitam e se concentram em torno do valor verdadeiro.

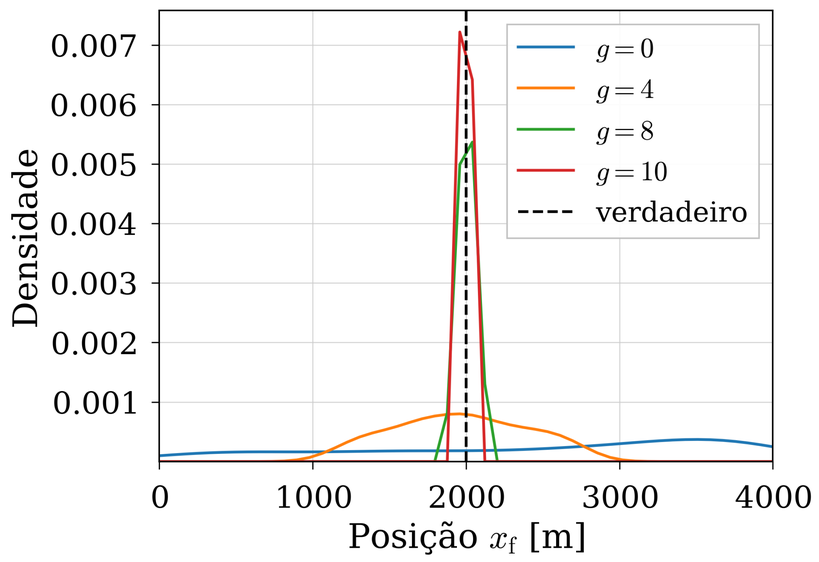



**Figura 2:** Evolução da posterior marginal da posição do furo $\pi(x_f|y)$ ao longo das gerações.

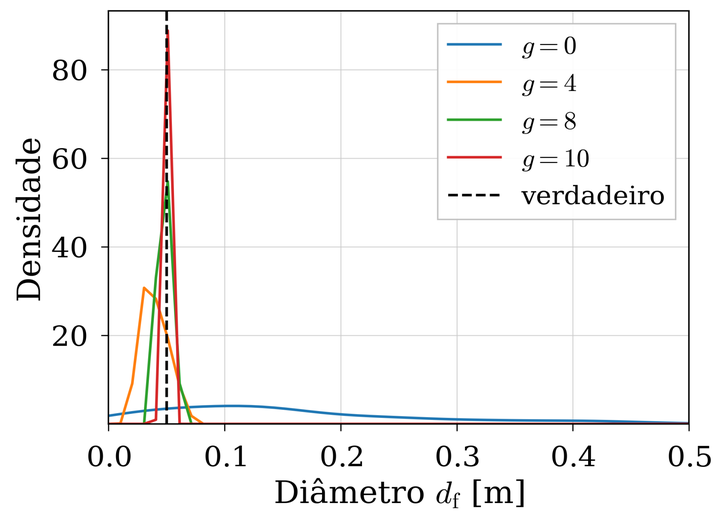



**Figura 3:** Evolução da posterior marginal do diâmetro do furo $\pi(d_f|y)$ ao longo das gerações.

A Figura 4 mostra a distribuição conjunta do diâmetro e da posição, que permite avaliar a relação entre os dois parâmetros e mostra a média a posteriori próxima do valor verdadeiro.

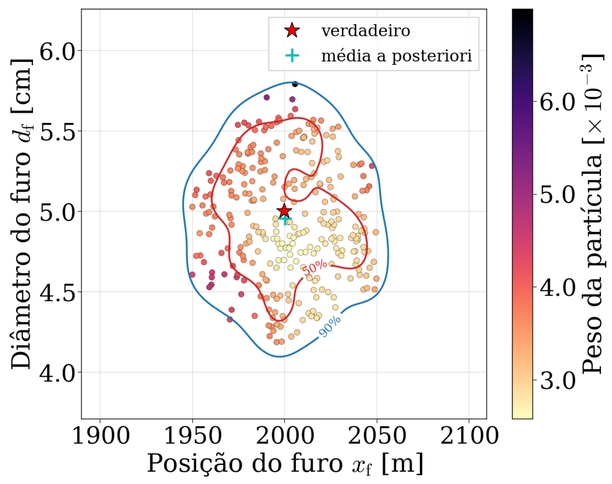



**Figura 4:** Distribuição conjunta do diâmetro e da posição do furo.

A Figura 5 compara o sinal observado no sensor com os sinais simulados a partir de 30 amostras sorteadas da distribuição a posteriori, o que permite avaliar o ajuste do modelo.

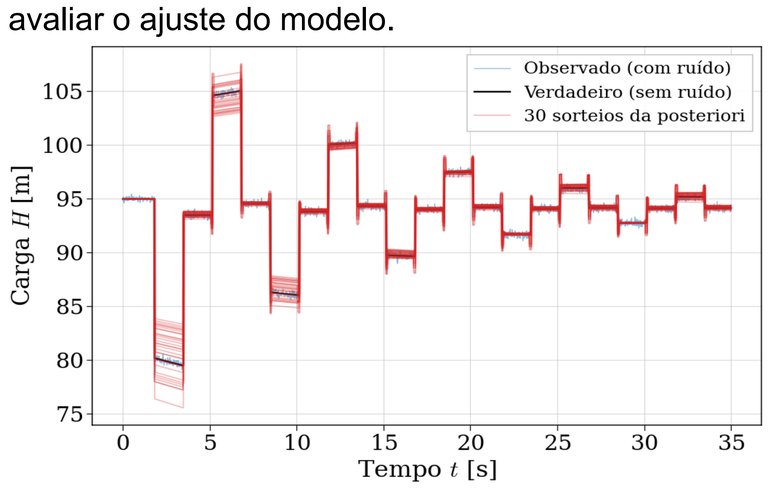



**Figura 5:** Medições no sensor localizado na posição $x_S = 1000\ m$.

## CONCLUSÕES

Este trabalho estabeleceu a base de modelagem direta para a identificação de vazamentos em tubulações multicamadas: foram desenvolvidos modelos de celeridade de onda, com e sem inércia da estrutura, e o MOC foi implementado e comparado com experimentos da literatura. Com esse modelo, iniciou-se o problema inverso por ABC-SMC, testado em um tubo simples de camada única. O próximo passo é a implementação de ramificações, que aproxima as simulações de sistemas reais, seguida da análise dos erros de modelo (bolhas, tipos de escoamento, corrosão) e da identificação de anomalias.

## REFERÊNCIAS

[1] CHAUDHRY, M. H. Applied Hydraulic Transients. Springer, 2014.
[2] CRANDALL, S. H. et al. An Introduction to the Mechanics of Solids. McGraw-Hill, 1978.
[3] EVANGELISTA, F. et al. Wave celerity in hydraulic transients computation for CIPP-rehabilitated pipes. Int. J. Comput. Methods Exp. Meas., v. 8, 2020.
[4] TIJSSELING, A. S. Water hammer with fluid–structure interaction in thick-walled pipes. Comput. Struct., v. 85, 2007.
[5] STREETER, V. L.; WYLIE, E. B. Mecânica dos Fluidos. McGraw-Hill, 1982.
[6] TARANTOLA, A. Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation. SIAM, 2005.
[7] TONI, T. et al. Approximate Bayesian computation scheme for parameter inference and model selection in dynamical systems. J. R. Soc. Interface, v. 6, 2009.