cbecimat26
26° Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais
22 a 26 de novembro de 2026
Costão do Santinho
Florianópolis-SC

Metamaterial Acústico Subaquático de Poliuretano/Tungstênio: Simulação e Validação Experimental da Redução da Intensidade Acústica Refletida entre 50 e 100kHz.

Rodolfo Lopes Gonçalves[1]; Renato Peres Vio[2]; Foluke Salgado de Assis[3]; Pedro Mendes Diniz[4]; Wendel Quintana Freitas de Lima[5].
1, 2. IEAPM; 3, 4. IPqM; 5. CASOPE.

Introdução

Em termos gerais, metamateriais podem ser compreendidos como materiais constituídos por componentes naturais, mas organizados a partir de estruturas artificiais concebidas por projeto, capazes de produzir propriedades que extrapolam aquelas usualmente encontradas na natureza (SUN; ZHOU, 2025). Nesse contexto, os metamateriais absorvedores acústicos subaquáticos apresentam potencial para reduzir a reflexão sonora, sendo seu desempenho associado à combinação entre baixa reflexão superficial e elevada dissipação interna (ZHU et al., 2022).

Objetivos

Assim, o presente trabalho tem como objetivo desenvolver e avaliar um metamaterial acústico subaquático com impedância próxima à da água, baseado em ressoadores constituídos por um compósito de poliuretano (PU) e tungstênio (W). A utilização desse compósito tem como referência o estudo de Qu et al. (2022), que analisou o desempenho de uma estrutura absorvedora em frequências de até 20 kHz. De forma complementar, este trabalho investigou uma faixa de frequência mais elevada, entre 50 e 100 kHz. Em comparação à estrutura de Qu et al. (2022), de aproximadamente 0,92 m × 0,92 m, o protótipo desenvolvido apresenta escala reduzida, com cerca de 4,5 cm × 4,5 cm.

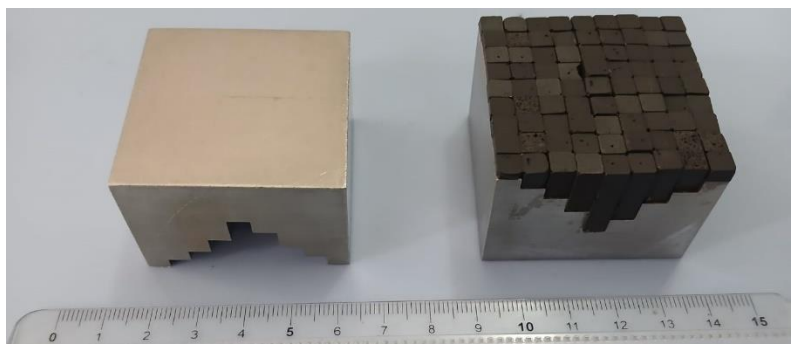
Metodologia

Inicialmente, os resultados de Qu et al. (2022) foram validados por modelagem analítica em Python e simulações por Método dos Elementos Finitos no *software* ANSYS. Em seguida, foi confeccionado um metamaterial em escala reduzida, com ressoadores de poliuretano e tungstênio (PU/W) fixados sobre uma base de aço. Nos ensaios em tanque hidroacústico, um projetor transmitiu ondas acústicas em direção às amostras de mesma geometria: uma base de aço sem revestimento e, posteriormente, outra revestida com ressoadores. O retorno dessas ondas (eco) foi captado por um receptor, permitindo comparar as intensidades refletidas.

Resultados e Discussão

Os ensaios evidenciaram que a base revestida com ressoadores de PU/W apresentou menor intensidade do eco que a base de aço sem revestimento (Figura 1a). Esse comportamento foi observado em toda a faixa analisada no experimento (50 a 100 kHz), evidenciando o potencial do metamaterial para atenuação acústica em banda larga. Em 50 kHz, a redução na intensidade acústica refletida atingiu valor máximo de aproximadamente 80%, equivalente a uma atenuação próxima de 7 dB (Figura 1b).

a)



b)

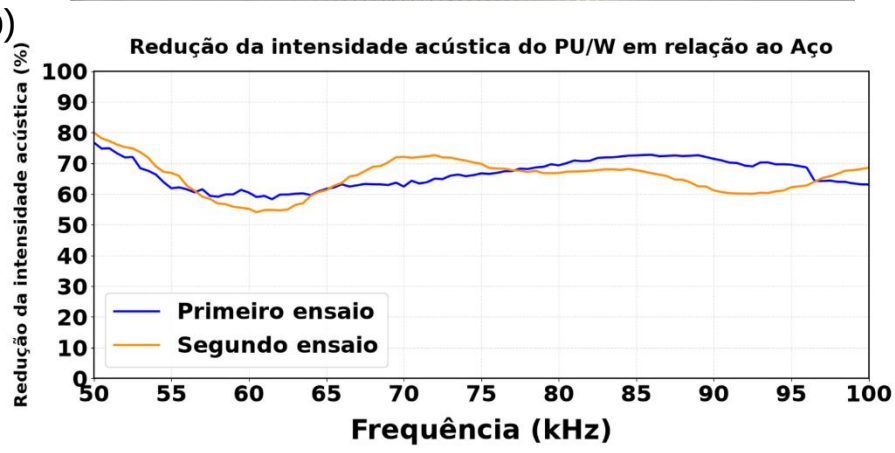


Figura 1. (a) Base de aço sem revestimento (esquerda) e metamaterial acústico de PU/W (direita); (b) redução da intensidade acústica refletida na faixa de 50 a 100 kHz.

Conclusões

O protótipo em escala reduzida, constituído por ressoadores de PU/W sobre a base de aço, apresentou redução da intensidade do eco em comparação à base não revestida ao longo da faixa de 50 a 100 kHz. O casamento incompleto de impedâncias entre o compósito e a água, associado à possível presença de bolhas no interior dos ressoadores, limitou a obtenção de níveis mais elevados de absorção acústica. A semelhança entre os resultados dos dois ensaios indica repetibilidade satisfatória, enquanto a redução observada em toda a faixa evidencia o potencial da estrutura para atenuação acústica em banda larga.

Referências

QU, Sichao; GAO, Nan; TINEL, Alain; MORVAN, Bruno; ROMERO-GARCÍA, Vicente; GROBY, Jean-Philippe; SHENG, Ping. Underwater metamaterial absorber with impedance-matched composite. Science Advances, American Association for the Advancement of Science,v. 8, n. 20, eabm4206, 2022.

SUN, Jingbo; ZHOU, Ji. Metamaterials: The Art in Materials Science. Engineering, v. 44, p. 145–161, 2025. ISSN 2095-8099. DOI: https://doi.org/10.1016/j.eng.2024.12.011. Disponível em: https: //www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809924007288.

ZHU, Zhenjing; HU, Ning; WU, Junyi; LI, Wenxin; ZHAO, Jiabao; WANG, Maofa; ZENG, Fanzong; DAI, Huajie; ZHENG, Yongju. A review of underwater acoustic metamaterials for underwater acoustic equipment. Frontiers in Physics, Volume 10 - 2022, 2022. ISSN 2296-424X. DOI: 10.3389/fphy.2022.1068833. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/physics/articles/10.3389/fphy.2022.1068833.