BIC/UCS

SIMULAÇÕES MULTIFÍSICAS DE METAMATERIAIS PARA APLICAÇÕES ACÚSTICAS

FISMAT

Lucas R. Vieira (Bolsista), Janete E. Zorzi, Eduardo Thomazi e Cláudio A. Perottoni (Orientador)

Grupo de Pesquisa em Física de Materiais e Cerâmicas Avançadas

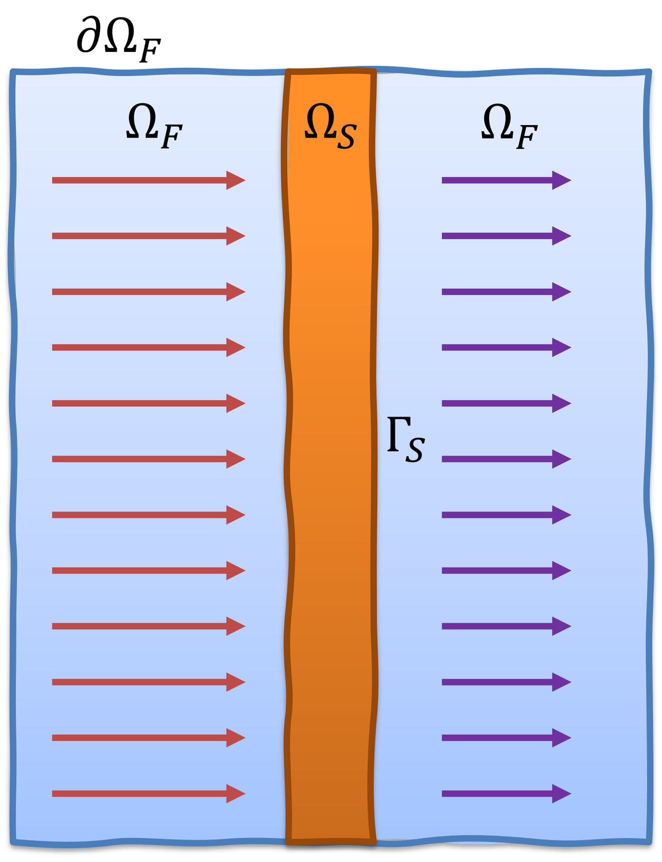
INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Os metamateriais são uma classe de materiais capaz de manipular grandezas físicas de maneira a produzir propriedades inexistentes na natureza [1]. Isso é possível graças à sua concepção em escala micro ou nanométrica. Frequentemente, empregam-se simulações numéricas em conjunto com algoritmos de otimização para encontrar a configuração ótima de um determinado problema. De um lado, as simulações numéricas permitem estudar *a priori* a resposta física de um certo material à estímulos externos. De outro lado, os algoritmos de otimização podem variar graus de liberdade do problema e relançar a simulação até encontrar os parâmetros que minimizam ou maximizam a propriedade de interesse. Uma aplicação particularmente útil para os metamateriais é a concepção de revestimentos acústicos que minimizam a transmitância de determinadas frequências sonoras [2]. Este trabalho visa criar um modelo numérico da propagação de ondas em meios fluidos e sólidos utilizando o método dos elementos finitos. O modelo proposto será a base para estudos de otimização de metamateriais aplicados à revestimentos acústicos.

EXPERIMENTAL

A solução utilizada para a criação do modelo foi o projeto FEniCS [3]. Nesta plataforma, é preciso descrever o problema completamente de maneira matemática, isto é, definir geometricamente os domínios dos materiais e atribuir suas respectivas propriedades e as equações que governam sua física.

A figura ao lado representa o modelo de estudo. Uma parede sólida Ω_S divide o domínio de ar Ω_F em duas partes. Há também a interface fluido-sólido Γ_S e a fronteira externa $\partial\Omega_F$. Uma frente de onda plana avança da metade esquerda para a direita, atravessando a parede. As equações que governam a propagação de onda em Ω_F e Ω_S, a mais das condições de acoplamento em Γ_S são [4]:



$$\begin{cases} \nabla^2 p + \kappa^2 p = 0 & \text{em } \Omega_F \\ \nabla \underline{\sigma}(\vec{u}) + \omega^2 \vec{u} = 0 & \text{em } \Omega_S \\ \dfrac{\partial p}{\partial \vec{n}} = \rho_F \omega^2 \vec{n} \cdot \vec{u} \text{ e } -p\vec{n} = \underline{\sigma}(\vec{u}) \cdot \vec{n} & \text{em } \Gamma_S \end{cases}$$

Em seguida, para aplicar o método dos elementos finitos, é preciso informar a forma fraca das equações diferencias parciais [4]:

$$\int_{\Omega_S} (\nabla p \cdot \nabla q - \kappa^2 pq)\, d\vec{x} + \int_{\Omega_F} (\underline{\sigma}(\vec{u}) : \nabla \vec{v} - \omega^2 \vec{u} \cdot \vec{v})\, d\vec{x} + \int_{\Gamma_S} \rho_F \omega^2 (\vec{n} \cdot \vec{u}) q\, ds + \int_{\Gamma_S} (p\vec{n}) \cdot \vec{v}\, ds = 0$$

Nas equações acima, p é a pressão do fluido, κ é o número de onda, $\underline{\sigma}$ é o tensor tensão de Cauchy, $\vec{u}$ é o vetor deslocamento no interior do sólido, ω é a frequência angular, $\vec{n}$ é o vetor unitário normal à Γ_S, ρ_F é a densidade do fluido, e q e $\vec{v}$ são as funções teste do método.

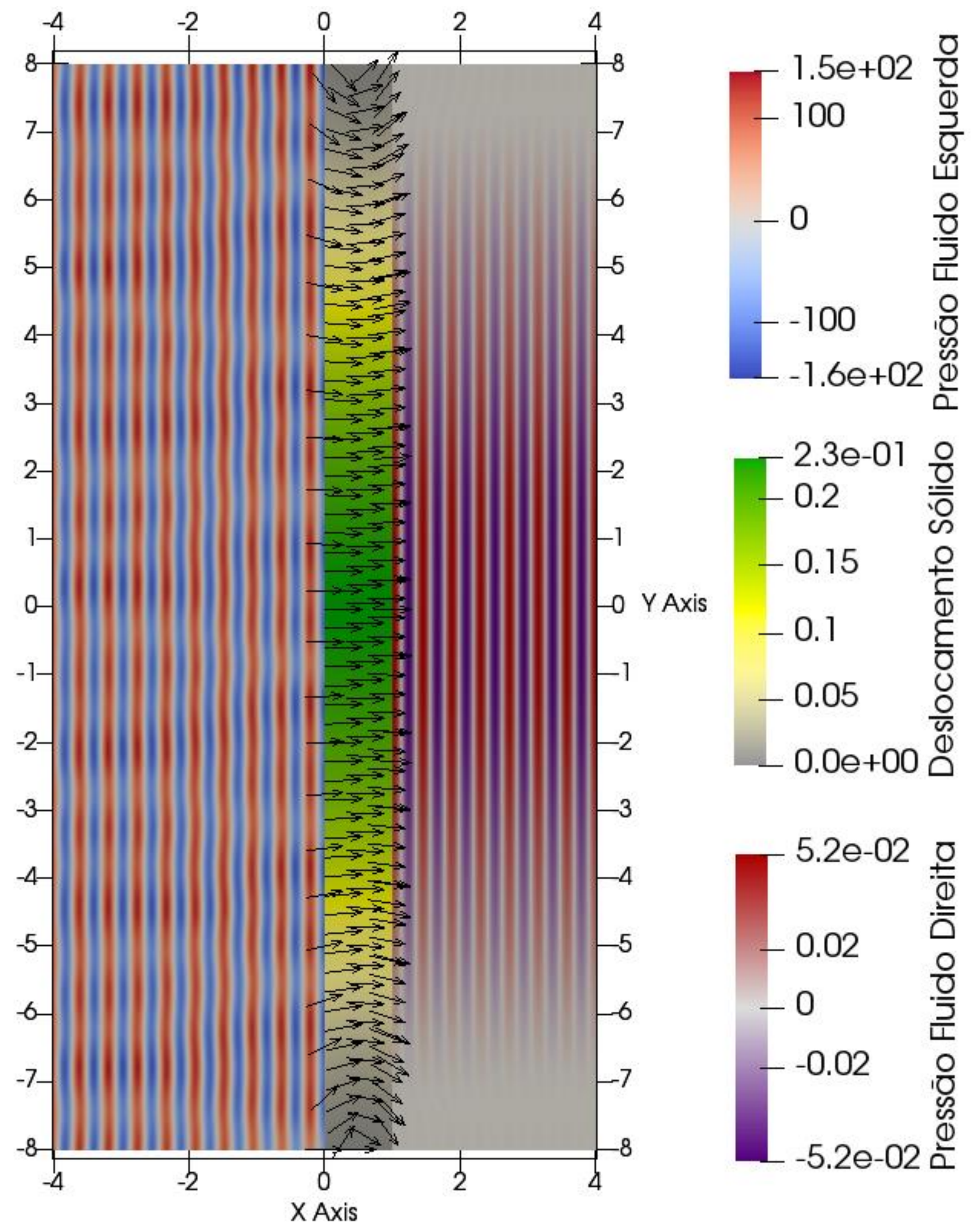
RESULTADOS E DISCUSSÃO

A complexidade do modelo físico-matemático da propagação de ondas em sólidos e fluidos foi uma dificuldade marcante, principalmente no início do projeto. De fato, muitas simulações tiveram de ser refeitas diversas vezes para corrigir problemas inesperados. Como exemplo, inicialmente pretendia-se tratar a propagação de ondas no tempo, entretanto, descobriu-se o domínio frequencial era mais apropriado [4].

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Até o momento, o resultado mais proeminente é apresentado na figura abaixo, a qual indica as dimensões do domínio de estudo. As unidades das grandezas físicas não são importantes por ora. Aqui, a fronteira esquerda está sujeita a uma pressão sonora de módulo 150, as outras condições de contorno são de Neumann (simetria) para as fronteiras superior, inferior e direita do fluido; e de Dirichlet (deslocamento zero) para as fronteiras superior e inferior da parede.

As ondas incidentes, na parte esquerda, atingem a parede e a deslocam para a direita, como indicam os vetores. O mesmo padrão se observa na parte direita. Além disso, observa-se, nas extremidades superior e inferior da parte direita, que a pressão sonora é zero. Este resultado indica que o modelo leva em conta o acoplamento das equações acústica e elástica na interface. Entretanto, o modelo tem a desvantagem de não dar o tratamento apropriado às ondas que atingem as fronteiras externas do domínio.



De acordo com a literatura, uma forma elegante de se lidar com esse problema é a introdução de uma camada exterior ao domínio chamada de *perfectly-matched-layer* (PML). A função desta camada é absorver e amortecer as ondas que ali chegam, evitando que as mesmas sejam refletidas. Entretanto, a implementação da PML implica em reescrever a forma fraca das equações e lidar com algumas limitações do FEniCS.

CONCLUSÕES

Os resultados indicam que o modelo representa relativamente bem a propagação de ondas em meios fluidos e sólidos. Contudo, há o problema da reflexão das ondas nas fronteiras externas do domínio, as quais interferem com as ondas incidentes. De fato, este problema deve ser resolvido antes que a estrutura dos metamateriais e os algoritmos de otimização sejam implementados. Felizmente, já é possível vislumbrar uma solução e acredita-se que, após as adequações necessárias, o modelo será capaz de simular casos reais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Filiberto Bilotti e Levent Sevgi. “Metamaterials: Definitions, properties, applications, and FDTD-based modeling and simulation (Invited paper)”. Em: International Journal of RF and Microwave ComputerAided Engineering 22 (jul. de 2012), pp. 422–438.

[2] Hisham Assi. “Time-domain Modeling of Elastic and Acoustic Wave Propagation in Unbounded Media with Application to Metamaterials”. Tese de doutoramento. Jan. de 2016.

[3] Anders Logg, Kent-Andre Mardal e Garth Wells, eds. Automated Solution of Differential Equations by the Finite Element Method. Springer Berlin Heidelberg, 2012. doi: 10.1007/978- 3- 642- 23099- 8.

[4] Xue Jiang e Peijun Li. “An Adaptive Finite Element PML Method for the Acoustic-Elastic Interaction in Three Dimensions”. Em: Communications in Computational Physics 22.5 (out. de 2017), pp. 1486– 1507. doi: 10.4208/cicp.oa-2017-0047.