



# Projeto de metaestruturas para suportes com isolamento de vibrações mecânicas

**Palavras-Chave: Metamaterial; Suporte de Bateria; Isolamento de Vibrações Mecânicas**

**Autor:**

**Theodoro Becker Gerald, FEM - UNICAMP  
t271185@dac.unicamp.br**

**Orientador:**

**Prof. Dr. José Roberto de França Arruda, FEM - UNICAMP  
arruda@fem.unicamp.br**

## RESUMO

Metamateriais são estruturas projetadas para se comportar de forma não encontrada nos materiais convencionais. Metaestruturas feitas com esses materiais são geralmente periódicas e combinam mais de um material convencional. O objetivo desse estudo foi explorar o uso de metaestruturas elásticas para aplicação em suportes para isolamento de vibrações mecânicas usando o fenômeno de bandas proibidas (*band gaps*). Foram feitas simulações numéricas e experimentos em barras periódicas de matriz polimérica e inserções metálicas. O trabalho discute o ajuste dos modelos numéricos, em especial das propriedades dos materiais usados com base nos resultados experimentais. A análise dinâmica inclui os diagramas de dispersão (número de onda versus frequência) e respostas forçadas. Algumas geometrias inspiradas nos coxins convencionalmente usados para isolar vibrações, mas aplicados periodicamente, são investigadas usando o software comercial de elementos finitos COMSOL. Os próximos passos abrangem o desenvolvimento de uma plataforma de testes para simular os suportes de um pacote de baterias de um veículo elétrico ou híbrido e sua capacidade de atenuar as vibrações vindas do chassi, pois há estudos na literatura técnica que mostram que as vibrações diminuem a vida das baterias.

## INTRODUÇÃO

Estruturas com variações periódicas de geometria e material são chamadas de cristais fonônicos ou metamateriais [1]. As ondas elásticas não podem propagar livremente nessas estruturas em algumas faixas de frequência, chamadas de bandas proibidas, ou *band gaps*. Na fase inicial deste estudo foi analisado o comportamento de barras periódicas de matriz polimérica com inserções de aço. O objetivo inicial foi o ajuste dos modelos teóricos feitos usando o método do elemento espectral [2] através da identificação das propriedades dos materiais utilizados (aço inox e TPU).

## METODOLOGIA

O modelo de elementos espectrais de barra usando a teoria elementar foi implementado em MatLab. A Fig. 1 mostra a montagem experimental usada para medir a resposta de uma barra periódica de TPU com inserções de aço. A barra foi excitada numa extremidade usando um martelo instrumentado com transdutor de força e a resposta na outra extremidade foi medida usando um micro acelerômetro. O aço inoxidável tem módulo de Young de 193 GPa e densidade de 8030 kg/m<sup>3</sup>.

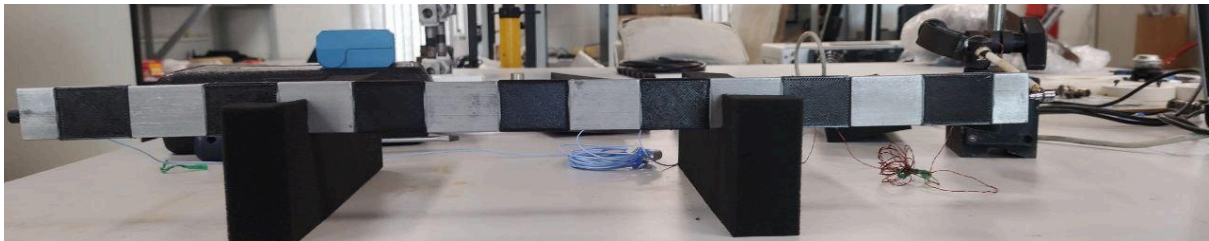


Figura 1: Montagem experimental de barra em matriz polimérica de TPU com inserções de aço inoxidável; excitação com o martelo de impacto e acelerômetro na extremidade oposta.

Usando o script em MatLab, foi calculado o diagrama de dispersão (curva de número de onda em função da frequência) e a resposta forçada correspondente à que foi medida experimentalmente. Com o modelo SEM é montada a matriz de rigidez dinâmica de uma célula periódica. Após a condensação dinâmica dos graus de liberdade internos a matriz de transferência entre deslocamentos e esforços à esquerda e à direita da célula é montada. pode-se mostrar que os autovalores da matriz de transferência, chamados de coeficientes de Bloch, são exponenciais que contêm o número de onda.

A Fig. 2 superior mostra o diagrama de dispersão obtido (em preto a parte real e em vermelho a parte imaginária do número de onda) e a inferior mostra a Função resposta em

Frequência (FRF) medida e a teórica, tendo as propriedades do polímero sido ajustadas de modo a haver uma boa concordância teórico/experimental. É possível observar que quando a parte imaginária do número de onda é não nula e a parte real está em 0 ou 1 (chamados de limites de Bragg), caracterizando um *band gap*, a resposta forçada evidencia uma redução da resposta da estrutura na extremidade oposta à excitada, caracterizando uma atenuação significativa da vibração transmitida.

Considerando que o melhor ajuste possível usando propriedades do polímero (módulo de Young de 0,2 GPa, coeficiente de Poisson de 0,39, amortecimento estrutural (fator de perda) de 0,25 e densidade 1220 kg/m<sup>3</sup>) não permitiu um ajuste perfeito das respostas calculadas e medidas, realizou-se um ajuste considerando as propriedades do polímero variáveis na frequência. Desta forma conseguiu-se um ajuste muito bom, mostrado na Fig. 3. A Fig. 4 mostra a dependência do módulo de Young e do amortecimento estrutural com a frequência que permitiram o ajuste da Fig. 3.

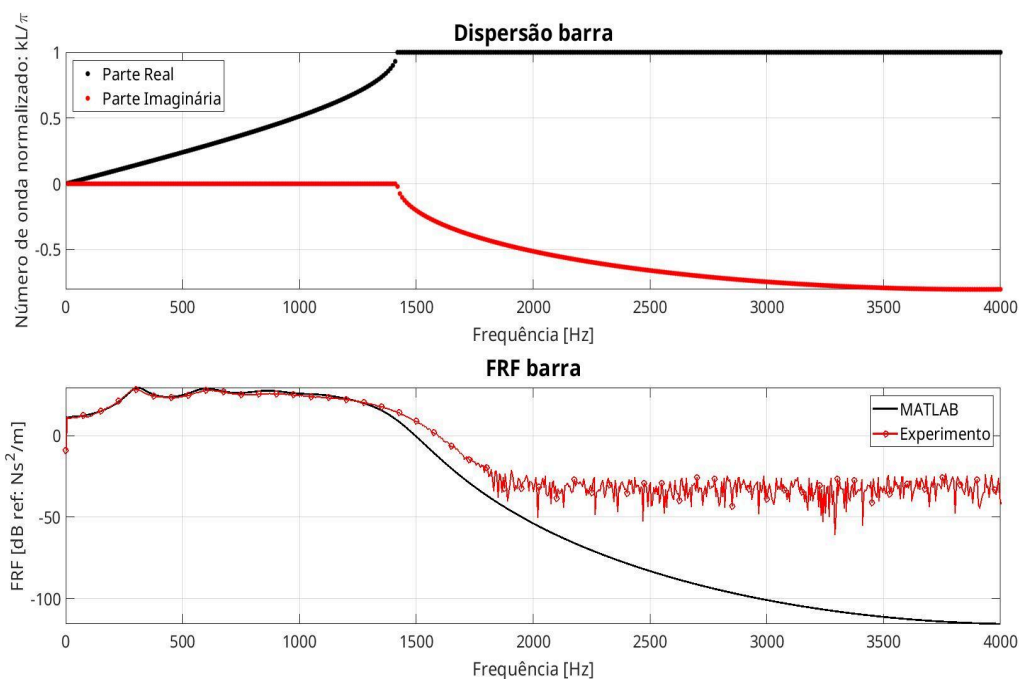


Figura 2: Diagrama de dispersão (superior) e de resposta em frequência (inferior) para barra (excitação longitudinal), sendo em vermelho o experimental e em preto a simulação numérica.

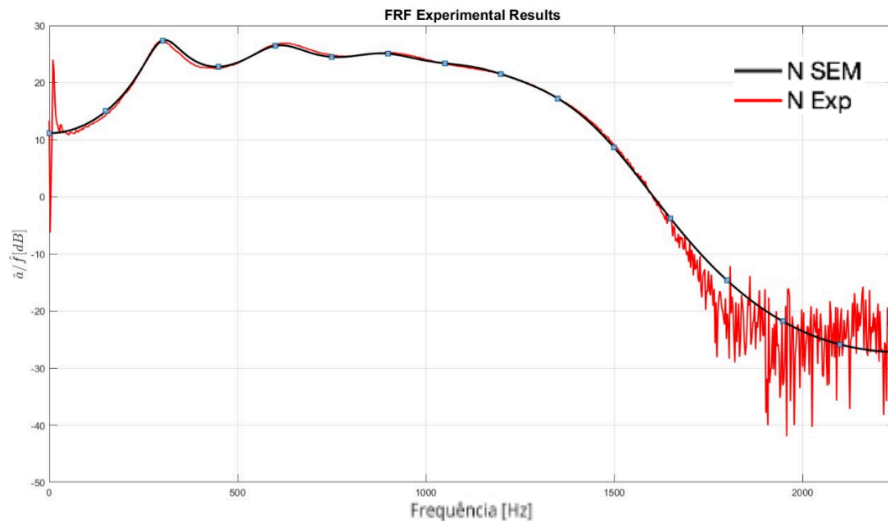


Figura 3: Ajuste do modelo SEM (preto) aos dados experimentais coletados (vermelho) usando propriedades do polímero variando na frequência.

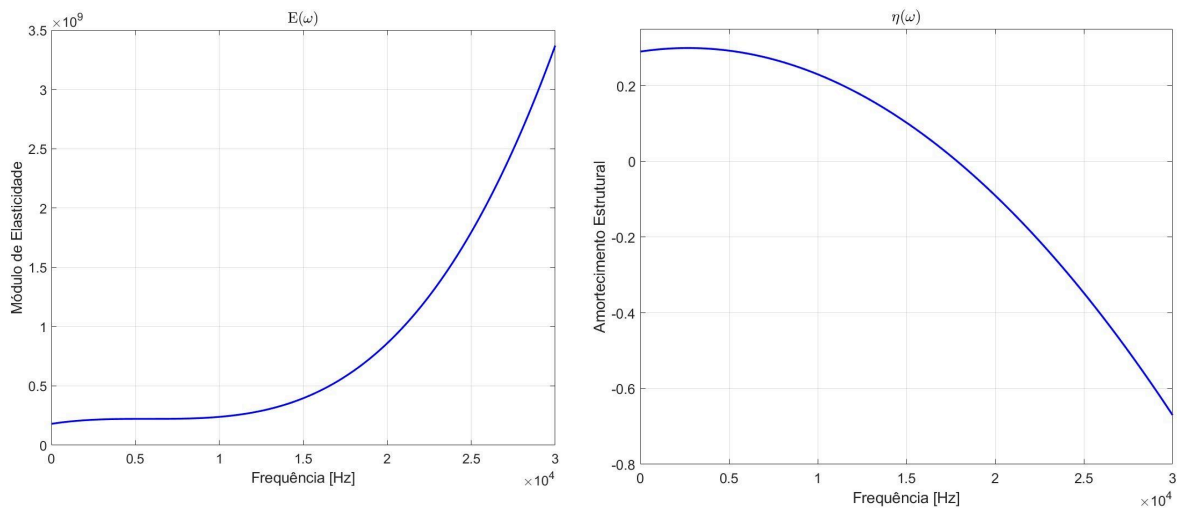


Figura 4: Módulo de Young (esquerda) e coeficiente de amortecimento estrutural (direita) variando na frequência que ajustaram a resposta em frequência experimental.

## OBSERVAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho é a aplicação do conceito de *band gaps* de estruturas periódicas como método de isolar vibrações mecânicas. Foi investigada uma estrutura muito simples de barra periódica para compreensão dos fenômenos físicos envolvidos e caracterização dos materiais utilizados. O próximo passo será o projeto de uma estrutura de aço e polímero periódica que possa ser usada em estruturas automotivas para a isolação de vibrações. O conceito será o de “coxins periódicos”, visando sobrepor os efeitos de isolação de um polímero com comportamento de elastômero com os *band gaps* de uma estrutura periódica. Essas estruturas mais complexas serão modeladas com o software comercial COMSOL e usadas para o suporte de baterias automotivas. Este software permite o cálculo dos

diagramas de dispersão. O sucesso desses dispositivos poderia ser efetivo no isolamento das vibrações transmitidas para as baterias de íon-lítio de veículos elétricos e híbridos, aumentando sua vida útil [3].

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] M. Sigalas, E. Economou, “Elastic and Acoustic Wave Band Structure”, *Journal of Sound and Vibration*, v. 158, pp. 377-382, 1992.
- [2] J. F. Doyle, *Wave propagation in structures: an FFT-based spectral analysis methodology*. Springer, 2012.
- [3] M. J. Brand; S. F. Schuster; T. Bach; E. Fleder; M. Stelz; S. Glaser; J. Muller; G. Sextl; A. Jossen. “Effects of vibrations and shocks on lithium-ion cells”, *Journal of Power Sources*, v. 288, pp. 62-69, 2015.
- [4] A.L. Goldstein, P. B. Silva, J.R.F. Arruda; “The wave spectral finite method applied to the design of periodic waveguides”, *International Congress on Sound & Vibration (ICSV)*, Rio de Janeiro, Brazil, 2011.