

# Vibrações em Motores de Combustão Interna: Modelagem dos Modos de Vibração e Impactos na Vida Útil de Mancais e Virabrequins

**Jafar Mourad Mourad**  
[jafar.m@aluno.ifsp.edu.br](mailto:jafar.m@aluno.ifsp.edu.br)

**João Pedro Gomes Tozzo**  
[j.tozzo@aluno.ifsp.edu.br](mailto:j.tozzo@aluno.ifsp.edu.br)



# Introdução



O artigo trata das vibrações em motores de combustão interna, focando nos efeitos dessas vibrações sobre mancais (rolamentos) e virabrequim.



Destaca-se que essas vibrações são críticas para a durabilidade dos componentes e para a confiabilidade do motor.



Objetivo do estudo: analisar os modos de vibração (torcional, flexional, translacional), modelá-los de forma teórica/numérica e discutir mitigação.



# Tipos de Vibração



**Torsional:** causada por torque alternado no virabrequim, e é especialmente perigosa por poder gerar ressonância.



**Flexional:** curvatura do virabrequim devido a cargas radiais, afetando os mancais.



**Longitudinal (axial):** movimento ao longo do eixo; embora muitas vezes menos estudado, pode influenciar bastante a durabilidade.



Também é explicado o conceito de modos de vibração (formas vibracionais) e frequências naturais, e o fenômeno de ressonância.

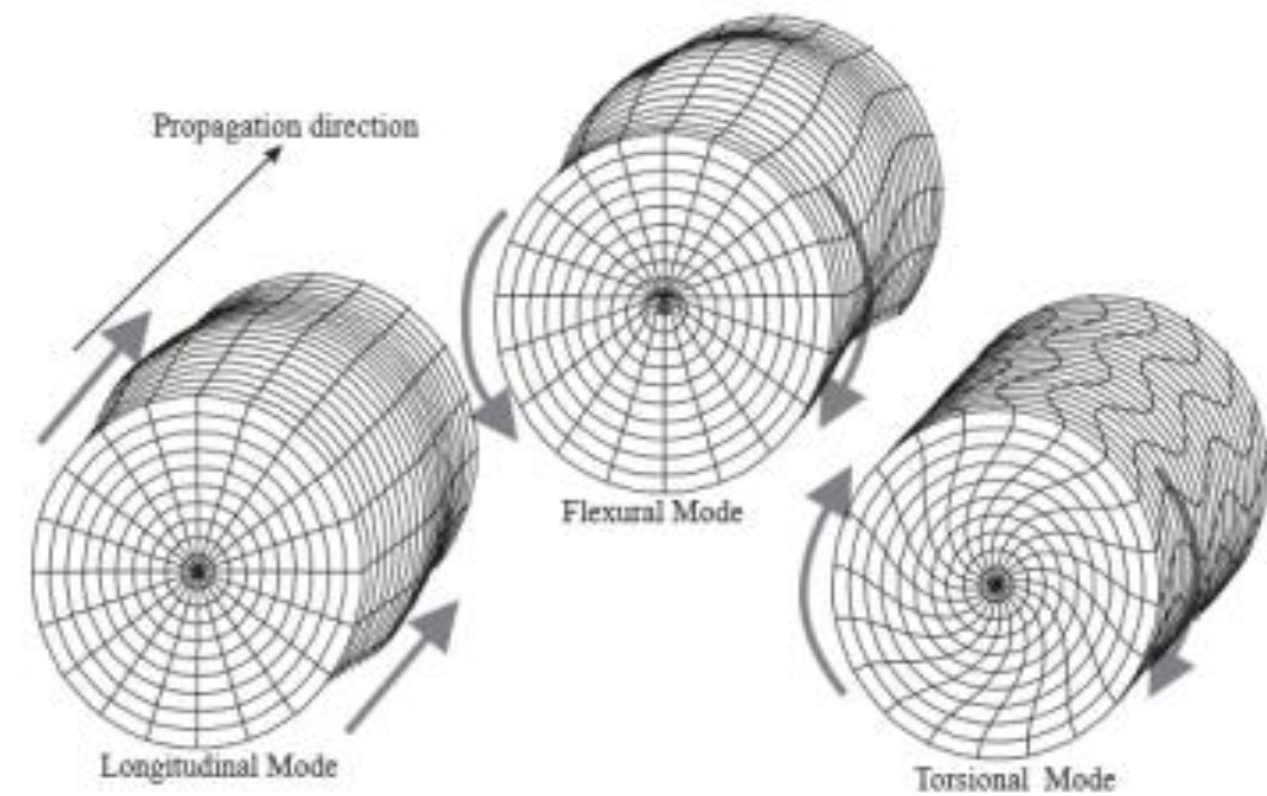


Figura 3 - Tipos de vibrações (axial, flexional e torcional).

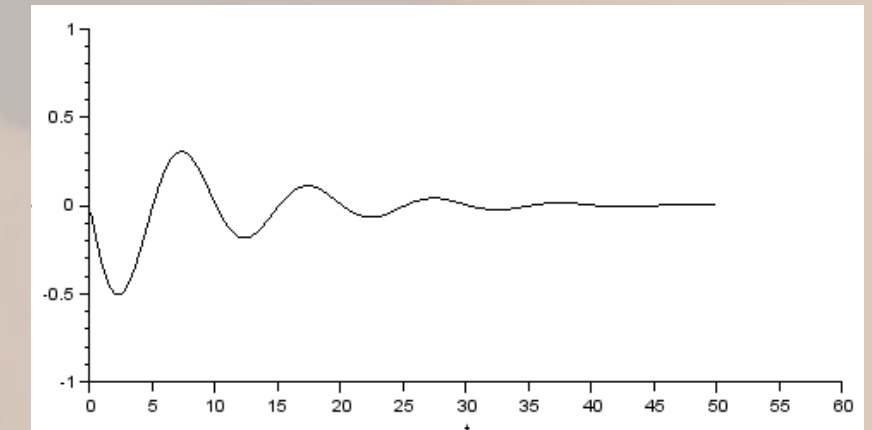




# Modelagem Dinâmica



**Modelos analíticos básicos:** sistema massa-mola-amortecedor para representar vibração translacional. (1 GDL)



**Vibração torsional:** modelada com momento de inércia, rigidez torsional e amortecimento. (n GDL rigidez torcional e axial, além de amortecimentos.)



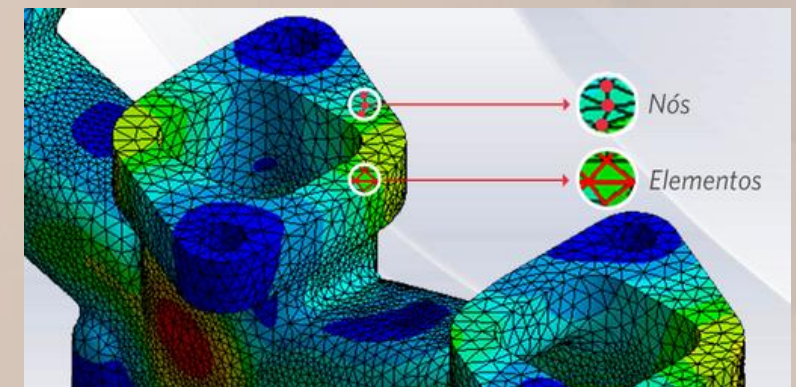
**Flexão:** é usada a equação da viga de Euler–Bernoulli para modelar o virabrequim como uma viga com massas concentradas (contra-pesos, pinos, etc.).

$$E \cdot I \cdot \left( \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \right) + \rho \cdot A \cdot \left( \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} \right) = 0$$



**Métodos numéricos:**

- Modelo de parâmetros concentrados (“lumped-parameter model”).
- Elementos Finitos (FE): para analisar com precisão tensões, modos acoplados torção-flexão, geometria realista.



Também são mencionados modelos acoplados fluido-estrutura para considerar a lubrificação dos mancais.



# Mitigação das Vibrações



O artigo propõe várias estratégias para reduzir os efeitos das vibrações:



**Balanceamento:** ajustar o equilíbrio do virabrequim para reduzir forças inerciais.



**Dampers (amortecedores):** principalmente amortecedores torsionais (“harmonic damper”) para absorver energia em frequências críticas.



**Suportes resilientes / isoladores:** reduzir a transmissão de vibração para a estrutura.



**Projeto do virabrequim:** aumentar rigidez, otimizar geometria de filetes, tratamentos superficiais para reduzir concentração de tensão.



**Manutenção e monitoramento:** lubrificação adequada + análise de vibração para detectar problemas cedo.



**Balance shafts:** em motores com menos cilindros ou desbalanceados, eixos de balanceamento podem ser usados.



# Efeitos Dinâmicos sobre Mancais e Virabrequim



As vibrações podem afetar mancais e virabrequins de varias maneiras. Esforços cíclicos, desgaste por contato metal-metal, aumento de temperatura e variações de carga no filme de óleo são algumas delas.



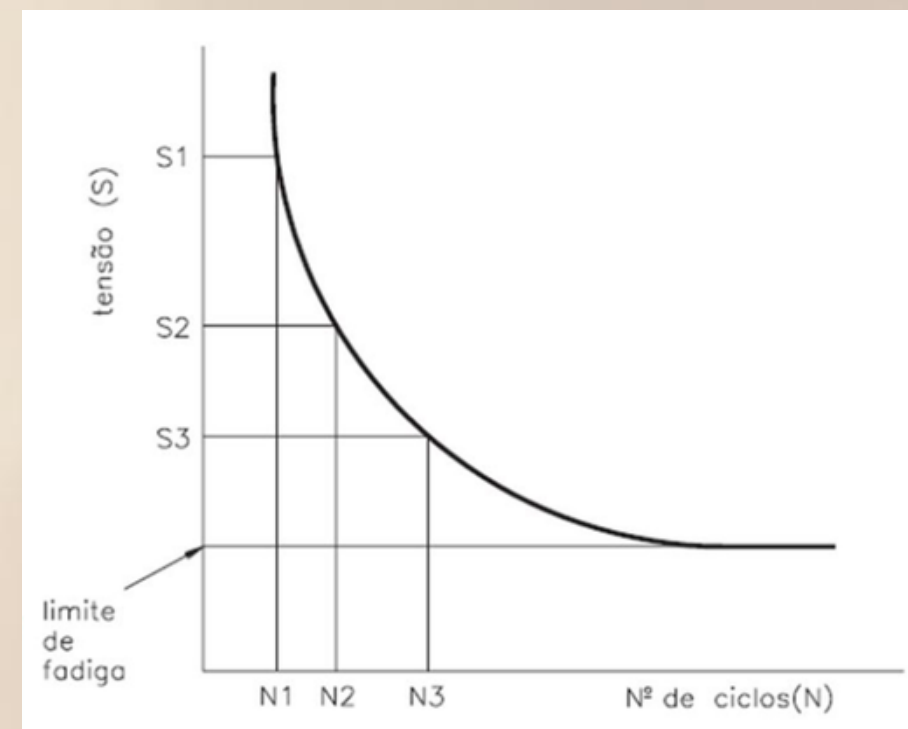
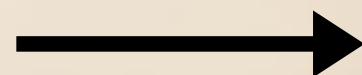
Os principais mecanismos de dano são:



Lubrificação Hidrodinâmica e Perturbações



Fadiga e Vida Útil (S-N e Miner's rule)



A Regra de Miner fornece uma aproximação da deterioração acumulada:

$$D = \sum \left( \frac{n_i}{N_i} \right)$$



Onde  $n_i$  é o número de ciclos aplicados à amplitude  $i$  e  $N_i$  é o número de ciclos até falha a essa amplitude



# Análise Modal e Aplicações



Análise modal experimental: testes com martelo de impacto ou “shaker” em junção a acelerômetros para medir modos naturais.

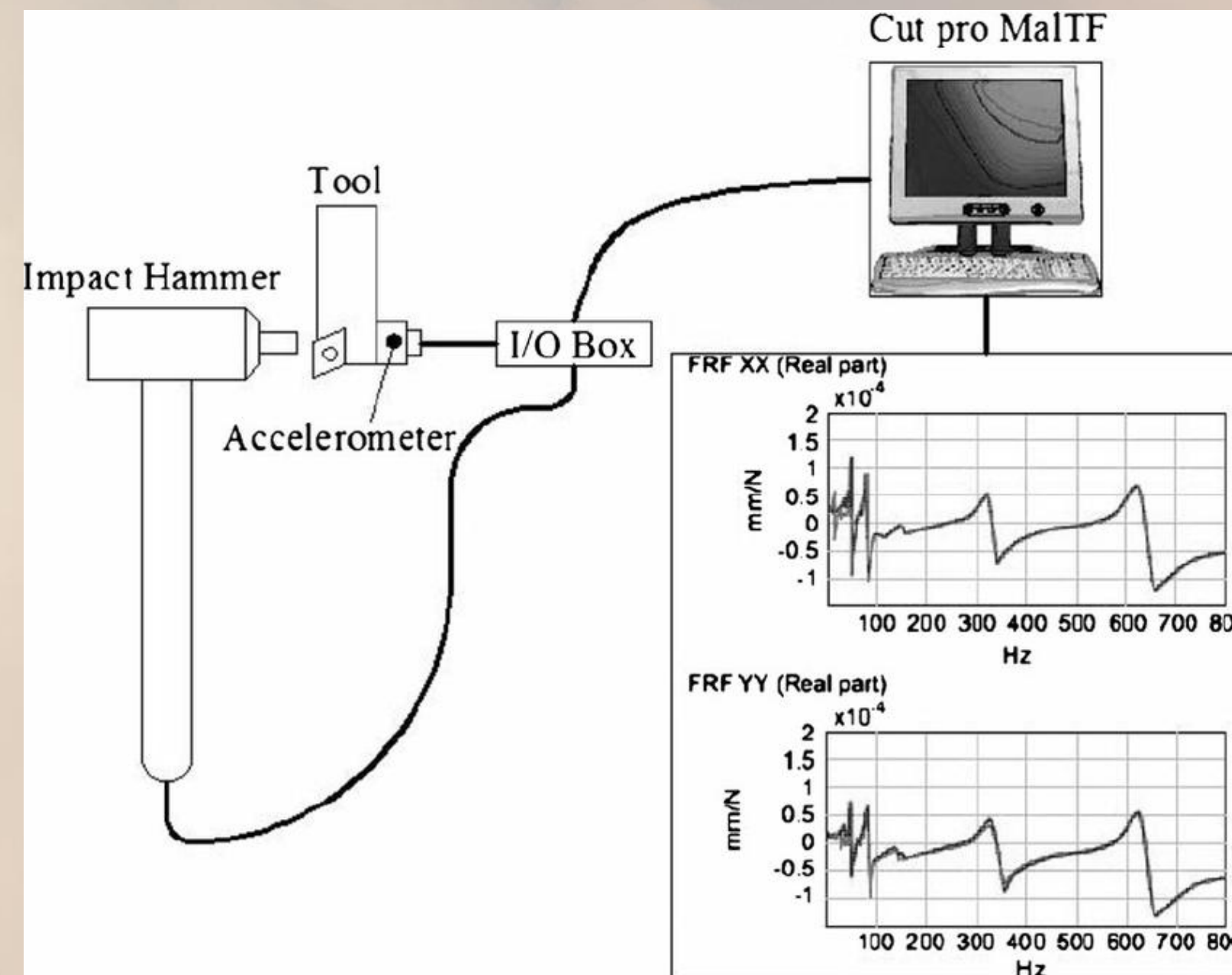


Análise modal numérica: uso de FEM para obter frequências naturais e tensões locais.



A junção das análises permite aplicações como:

- Definição de regimes de operação seguros
- otimizar geometria do virabrequim para reduzir tensões
- monitoramento de vibração para manutenção preditiva







# Relevância Prática



Engenheiros de projeto de motores podem usar esses modelos para evitar falhas por ressonância e projetar componentes mais duráveis.



Técnicos de manutenção podem aplicar o monitoramento de vibração para detectar problemas antes de falhas.



Em automotivo, naval, aero, etc., a durabilidade do virabrequim e mancais é crítica — reduzir vibração significa menor custo de manutenção e maior confiabilidade.





# Conclusões



O artigo apresenta uma visão consolidada sobre os modos de vibração principais (torsional, flexional, translacional) e seu impacto sobre virabrequim e mancais.



Reforça que a combinação de análise modal (experimento + numérico), projeto apropriado (balanceamento, dampers) e manutenção (lubrificação + monitoramento) é a estratégia mais eficaz para aumentar a vida útil dos componentes.

**Obrigado Pela Atenção**

