

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO VIBRATÓRIO DE UMA VIGA FLEXÍVEL NA PRESENÇA DE TRINCAS E COM ADIÇÃO DE MASSA

Thainá Rodrigues Santos¹, Edson Hideki Koroishi², Fernando José Antonio³

*^{1,2,3}Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio
Procópio, Brasil (t.hainasantos@hotmail.com)*

Resumo: A presença de trinca e a variação da massa influenciam significativamente o comportamento dinâmico da viga. A trinca provoca uma redução mais acentuada e localizada do coeficiente de amortecimento, com maior sensibilidade na região intermediária. Já a massa causa alterações nas regiões próximas ao engaste e à extremidade livre. Nesse estudo, conclui-se que o amortecimento é um parâmetro promissor para aplicações de monitoramento e diagnóstico estrutural.

Palavras-chave: Dinâmica estrutural; detecção de danos; coeficiente de amortecimento; vibrações mecânicas; viga em balanço.

INTRODUÇÃO

A mitigação de falhas estruturais por fadiga, associadas a tensões cíclicas, é essencial para a engenharia mecânica e estrutural. Tais falhas comprometem a confiabilidade e a segurança de sistemas críticos, especialmente em regimes de alto número de ciclos, nos quais trincas podem se iniciar e propagar de forma gradual (DANTAS et al., 2025), a presença de imperfeições geométricas agrava o cenário ao intensificar concentrações de tensão, elevando riscos operacionais e perdas econômicas (REDA et al., 2025).

O propósito central deste trabalho consiste na investigação do comportamento dinâmico de vigas na presença de trincas, analisando a influência da posição sobre as frequências naturais e os modos de vibração, bem como os efeitos da variação de massa no sistema estrutural. Para isso, são empregados modelos

matemáticos baseados na teoria de vigas de Euler-Bernoulli e simulações computacionais utilizando o Método dos Elementos Finitos. Espera-se, com isso, contribuir para a compreensão dos efeitos de descontinuidades estruturais no comportamento vibratório de vigas e fornecer subsídios teóricos que auxiliem no desenvolvimento de estratégias mais eficazes de monitoramento e detecção de danos em estruturas de engenharia.

MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia proposta baseia-se no desenvolvimento de um algoritmo computacional no *software* MATLAB® para analisar o comportamento dinâmico de uma viga flexível sob diferentes configurações estruturais. O modelo estrutural considerado corresponde a uma viga flexível, apresentada pela Figura 1, com propriedades elásticas e geométricas definidas conforme a Tabela 1.

O modelo numérico fundamenta-se no Método dos Elementos Finitos (MEF), na teoria de vigas de Euler-Bernoulli e na análise modal. Essa abordagem possibilita a obtenção da resposta dinâmica da estrutura por meio dos deslocamentos ao longo do tempo.

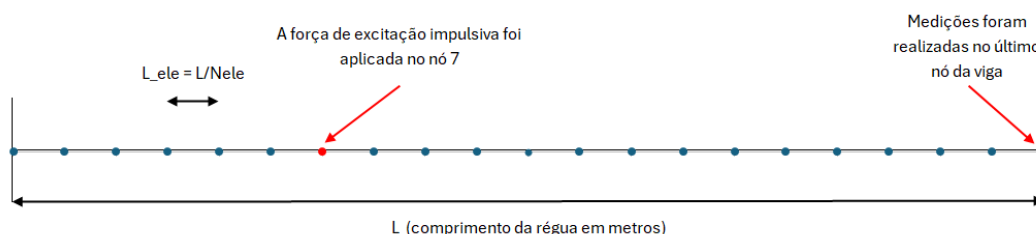


Figura 1. Modelo da viga.

Fonte: Autoria Própria.

As medições foram realizadas no último nó da viga, Figura 1, por ser o único ponto cuja posição permanece inalterada em todos os cenários analisados. Essa escolha assegura a comparabilidade dos resultados e reduz interferências associadas à variação da posição da trinca ao longo da estrutura.

A força de excitação impulsiva foi aplicada no nó 7, localizado em uma região intermediária da viga. Essa configuração favorece a excitação dos principais modos de vibração e minimiza a influência dos efeitos locais do impacto sobre as medições realizadas no nó 21, proporcionando uma resposta dinâmica mais representativa da estrutura (SANTOS, 2018).

Tabela 1. Parâmetros da viga de aço inox.

Parâmetro	Descrição	Valor	Unidade
M_E	Módulo de Elasticidade	1,2485x10 ¹¹	Pa
M_{ro}	Massa Específica	5,8928x10 ³	kg/m ³
ν_i	Coefficiente de Poisson	0,29	-
L	Comprimento Total	0,3	m
N_{nos}	Número de Nós	22	-
N_{ele}	Número de Elementos	21	-
L_{ele}	Comprimento por Elemento	0,0143	m
S_e	Área da Seção Transversal	2,65x10 ⁻⁵	m ²
I_e	Momento de Inércia	2,2083x10 ⁻¹²	m ⁴

Fonte: SANTOS (2018).

No primeiro modelo computacional, a discretização da estrutura foi realizada por meio de 21 elementos finitos. Na condição íntegra, cada elemento possui o comprimento de 0,0143 m, resultando em uma malha uniformemente distribuída. Para a representação da trinca, o elemento correspondente ao dano teve seu comprimento reduzido para 0,0020 m. Os demais elementos foram ajustados para 0,0149 m, preservando o comprimento total da viga. Essa estratégia promove uma alteração localizada da rigidez estrutural, permitindo representar numericamente os efeitos da descontinuidade causada pela presença da trinca.

O posicionamento da trinca foi realizado de forma sequencial ao longo da estrutura. Em cada uma das 19 simulações executadas, o elemento reduzido foi deslocado para uma posição distinta da malha. Esse procedimento possibilita avaliar a influência da localização do dano sobre os parâmetros dinâmicos da viga, especialmente as frequências naturais e as formas modais.

No segundo modelo computacional, massas concentradas foram inseridas em diferentes posições da estrutura íntegra. Essa etapa visa representar componentes presentes em aplicações reais, como sensores ou parafusos. A inclusão dessas massas permite investigar os efeitos do acréscimo de inércia sobre a resposta dinâmica da viga.

Ao final das simulações, os resultados em cada cenário são comparados por meio das frequências naturais e das formas modais. Essa abordagem possibilita identificar a influência da posição da trinca, bem como dos acréscimos de massa, sobre o comportamento dinâmico da viga. Dessa forma, o algoritmo desenvolvido constitui uma ferramenta capaz de auxiliar na compreensão dos efeitos de danos estruturais em vigas flexíveis, fornecendo subsídios para aplicações relacionadas ao monitoramento da integridade estrutural e para o rastreamento de danos em componentes mecânicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise do comportamento dinâmico de estruturas flexíveis desempenha um papel fundamental em diversas áreas da engenharia, especialmente no

monitoramento da integridade estrutural e na prevenção de falhas. Alterações nas propriedades físicas de uma estrutura, como a presença de danos ou a variação da distribuição de massa, podem modificar significativamente sua resposta vibratória, afetando parâmetros dinâmicos importantes, entre eles o coeficiente de amortecimento.

Dessa forma, a compreensão da influência desses fatores torna-se essencial para o desenvolvimento de técnicas mais eficientes de identificação de danos e de avaliação estrutural. Nesse contexto, a Figura 2 apresenta a variação do coeficiente de amortecimento em função da posição da trinca, sintetizando o comportamento discutido.

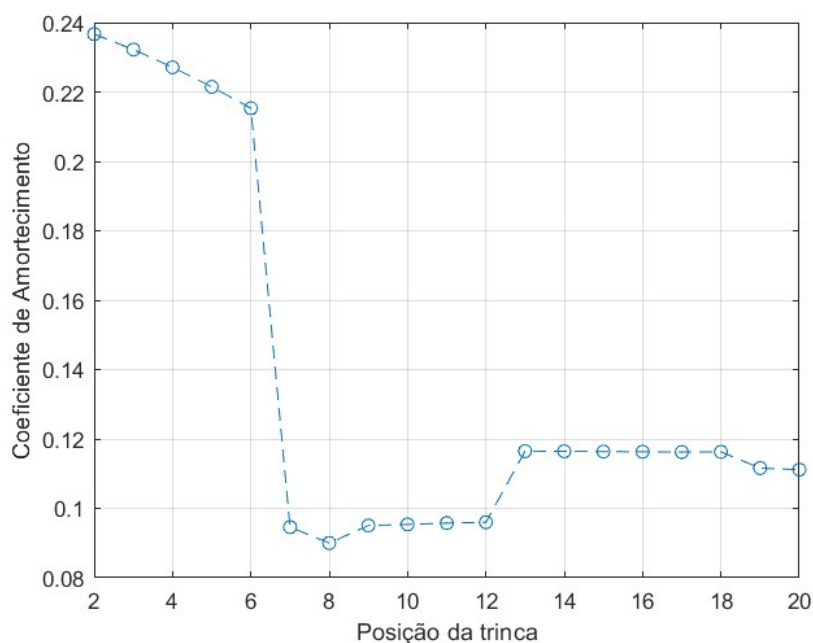


Figura 2. Relação entre o coeficiente de amortecimento e a posição da trinca.

Fonte: SANTOS, ANTONIO e KOROISHI (2025).

Conforme ilustrado na Figura 2, a presença de uma trinca localizada entre os elementos 6 e 13, correspondendo ao intervalo entre 0,0894 m e 0,1937 m a partir do engaste, caracteriza a condição mais crítica para o sistema analisado. Nessa região, observa-se a maior e mais acentuada redução do coeficiente de

amortecimento, evidenciando sua influência elevada nos mecanismos de dissipação de energia da estrutura.

Em contrapartida, o coeficiente apresenta comportamento relativamente mais estável entre os elementos 13 e 20 (de 0,1937 m a 0,2980 m do engaste), tornando-se significativamente mais robusto na faixa compreendida entre os elementos 2 e 6 (de 0,0298 m a 0,0894 m do engaste).

Os resultados indicam que estratégias de monitoramento estrutural devem priorizar a região compreendida entre os elementos 6 e 13, visto que danos localizados nesse intervalo comprometem significativamente a capacidade de atenuação das vibrações, favorecendo o aumento das amplitudes de resposta e, conseqüentemente, elevando o risco de falha estrutural.

Já no segundo modelo computacional, é apresentado na Figura 3 o comportamento do coeficiente de amortecimento em função da posição da massa na estrutura.

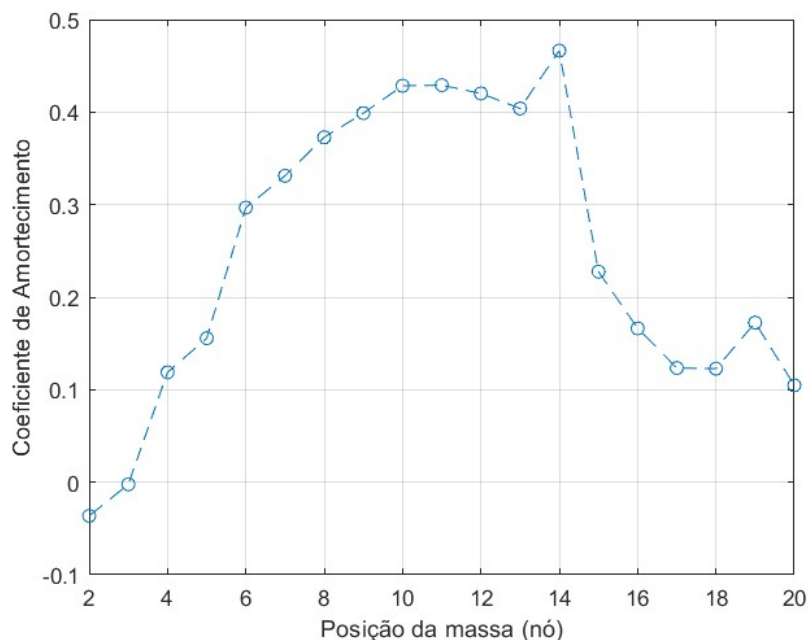


Figura 3. Relação entre o coeficiente de amortecimento e a posição da massa.
Fonte: Autoria Própria.

A partir dos resultados apresentados na Figura 3, nota-se, inicialmente, a ocorrência de valores negativos do coeficiente de amortecimento, o que sugere possíveis instabilidades associadas ao modelo adotado. Posteriormente, o coeficiente apresenta crescimento aproximadamente linear até atingir um valor máximo nas proximidades do nó 14, localizado a 0,21 m do engaste, mantendo-se elevado até essa posição.

Entre os nós 14 e 15, correspondentes ao intervalo entre 0,21 m e 0,225 m do engaste, verifica-se uma redução abrupta do coeficiente de amortecimento, caracterizando uma região de sensibilidade dinâmica da estrutura. Após essa transição, o coeficiente decresce e apresenta pequenas oscilações na extremidade livre da viga.

De modo geral, a posição da massa próxima ao nó 14 mostrou-se mais favorável à maximização da dissipação de energia. Entretanto, a brusca variação observada nessa região evidencia elevada sensibilidade do sistema a pequenas alterações de posicionamento. Considerando o comprimento total da viga de 0,30 m, identificam-se como regiões mais críticas o trecho inicial até aproximadamente 0,045 m do engaste e a extremidade próxima a 0,285 m. Em contraste, a região central da viga apresenta comportamento mais estável, indicando menor suscetibilidade a variações significativas do coeficiente de amortecimento em função do posicionamento da massa.

Os resultados confirmam que a distribuição de danos e cargas ao longo da estrutura modifica significativamente os mecanismos de dissipação de energia e a resposta vibratória da viga. Esses resultados fornecem subsídios para a criação de técnicas aprimoradas voltadas ao monitoramento da integridade de estruturas, de identificação de danos e de otimização de sistemas mecânicos sujeitos a vibrações, reforçando a importância da análise dinâmica como ferramenta para avaliação da integridade estrutural.

CONCLUSÃO

A avaliação comparativa entre os efeitos da posição da trinca e da localização da massa evidenciou diferenças significativas no comportamento dinâmico da

viga. Na presença de trincas, observou-se que a resposta do coeficiente de amortecimento é fortemente influenciada pela região onde o dano se localiza. A faixa compreendida entre os elementos 6 e 13 (de 0,0894 m a 0,1937 m do engaste) apresentou a maior redução do amortecimento, indicando elevada sensibilidade estrutural e maior comprometimento da capacidade de dissipação de energia. Esse comportamento está diretamente associado à redução local da rigidez provocada pela trinca, tornando a estrutura mais suscetível ao aumento das amplitudes vibratórias.

Por outro lado, a análise da variação da posição da massa em uma viga sem danos revelou regiões críticas próximas ao engaste e à extremidade livre, a influência da massa manifestou-se principalmente por meio de alterações graduais no coeficiente de amortecimento ao longo da estrutura. Nesse caso, a região próxima ao nó 14 (0,21 m do engaste) apresentou os maiores valores de amortecimento, indicando uma condição mais favorável à dissipação de energia.

A região mais sensível à presença de danos localiza-se na porção intermediária da estrutura, ao passo que os efeitos da massa são mais pronunciados nas proximidades das extremidades. Esses resultados demonstram que o coeficiente de amortecimento é um parâmetro promissor para aplicações de monitoramento e diagnóstico estrutural.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Fundação Araucária pelo suporte financeiro para a realização do trabalho.

REFERÊNCIAS

DANTAS, Rita et al. Very high cycle fatigue behaviour of a structural steel for offshore applications under a biaxial stress state. **International Journal of Fatigue**, v. 199, p. 109083, 2025.

REDA, Ahmed et al. Fatigue analysis and structural integrity of seamless carbon steel pipelines: insights from surface imperfections to industry standards.

International Journal of Pressure Vessels and Piping, p. 105625, 2025.

SANTOS, Thainá Rodrigues; ANTONIO, Fernando José; KOROISHI, Edson Hideki. Análise do comportamento vibratório de uma viga flexível na presença de trincas. In: FACULDADE DE TECNOLOGIA DE SÃO PAULO. **Boletim Técnico da FATEC-SP**: Resumos do 27º Simpósio de Iniciação Científica e Tecnológica da FATEC-SP. São Paulo: FATEC-SP, v. 60, n. 2, 2025. Disponível em: <https://bt.fatecsp.br/media/bulletins/bt60v2.pdf>. Acesso em: 21 jun. 2026.

SANTOS, Willian Faria dos. **Controle ativo de vibrações em uma viga flexível utilizando atuadores eletromagnéticos**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/27466>. Acesso em: 25 jun. 2026.