




Uso de Amortecedores Dinâmicos em Arranha-Céus e Pontes: Mitigação de Vibrações Induzidas por Ventos e Tráfego

Henrique de Sá Braga Ferreira
h.sa@aluno.ifsp.edu.br

Leonardo Davi Barbosa
leonardo.davi@aluno.ifsp.edu.br




Introdução

-  • Evolução das estruturas: Mais altas e mais leves.
-  • O Problema: Baixo amortecimento intrínseco (0,5% a 2%).
-  • Consequências: Desconforto humano e fadiga estrutural.



Fontes de Excitação e Fenômenos Físicos

 Vento: Vortex Shedding (Desprendimento de Vórtices).

 Tráfego/Pedestres: Ressonância e Sincronização.



Modelagem Matemática (Dinâmica Estrutural)



Equação de Movimento (MDOF):

$$M \cdot \ddot{u}(t) + C \cdot \dot{u}(t) + K \cdot u(t) = F(t) + F_{damp}(t)$$




Objetivo: Maximizar a dissipação via F_{damp}



Soluções Passivas: TMD e TMDI

 TMD (Clássico): Massa sintonizada + mola + amortecedor.

 TMDI (Inovação): Uso de Inerter.





Soluções Semi-Ativas (Fluido MR)



Amortecedores Magnetorreológicos (MR).



Mudança de viscosidade em milissegundos (Líquido \leftrightarrow Semi-sólido).



Baixo consumo de energia + Alta confiabilidade.



Controle Ativo (ATMD)



ATMD: Atuadores aplicam força externa.



Caso: Edifício Goldin Finance 117 (Aumento de 11x no amortecimento).




Contras: Custo elevado e necessidade de backup de energia.



Metodologia de Projeto Robusto

 Abordagem Híbrida: CFD (Computacional) + Túnel de Vento.

 Incertezas: Variação de rigidez e cargas estocásticas.

 Otimização: Algoritmos Genéticos / PSO.




Metodologia de Projeto Robusto

Tecnologia / Tipo	Modo de Ação	Vantagens Principais	Limitações e Desafios de Viabilidade	Exemplos Notáveis
TMD Passivo	Massa auxiliar sintonizada que oscila em oposição de fase com a estrutura, dissipando energia através de um amortecedor viscoso ou friccional.	Simplicidade conceitual, alta confiabilidade, ausência de consumo de energia, custo relativamente baixo.	Requer massa elevada, ocupa espaço significativo, sensível a erros de sintonia (perda de eficácia se a frequência da estrutura mudar).	Taipei 101 (Taiwan); John Hancock Tower (Boston, EUA).
TMDI (com Inerter)	Similar ao TMD, mas incorpora um <i>inerter</i> que gera uma força proporcional à aceleração relativa, criando um efeito de "amplificação de massa".	Maior eficácia com menor massa física, menor curso (<i>stroke</i>) necessário, maior robustez a erros de sintonia.	Maior complexidade mecânica, custo superior ao TMD passivo, as forças geradas pelo <i>inerter</i> devem ser acomodadas pela estrutura.	Aplicações em pesquisa e projetos de ponta; estudos de TMDFI para arranha-céus.
Amortecedor MR (Semi-Ativo)	Utiliza um fluido magnetorreológico cuja viscosidade é controlada em tempo real por um campo magnético, ajustando a força de amortecimento.	Adaptabilidade a diferentes condições de carga, baixo consumo de energia, alta confiabilidade (operação passiva em caso de falha), bom equilíbrio entre desempenho e custo.	Complexidade do sistema de controle e sensores, possível atraso na resposta do controle, custo de manutenção e monitoramento contínuo.	Controle de cabos em pontes estaiadas (ex: Ponte Dongting, China); suspensões automotivas.
ATMD (Ativo)	Utiliza atuadores para aplicar uma força externa controlada à massa do amortecedor, opondo-se ativamente ao movimento da estrutura.	Máximo desempenho na redução de vibrações, adaptabilidade total a mudanças na estrutura e na excitação, eficaz em ampla faixa de frequências.	Alto custo de instalação e operação, consumo significativo de energia (requer backup), alta complexidade do sistema de controle, risco de falha.	Arranha-céu de 600 m (China) ; Citigroup Center (Nova Iorque, EUA).

- Passivo: Confiável, mas pesado.
- Semi-Ativo: Adaptável e econômico.
- Ativo: Máxima performance, alto custo.



Tendências Futuras

 Inteligência Artificial: Redes Neurais (LSTM) para previsão de vibração.

 Energy Harvesting: Amortecedores que geram eletricidade.

 Projeto Integrado (Arquitetura + Engenharia).



Conclusões



- Amortecedores não são acessórios, são essenciais.



- Evolução: Reativo \leftrightarrow Adaptativo \leftrightarrow Preditivo.



- Segurança e Conforto garantidos.

Obrigado Pela Atenção

