

THE INFLUENCE OF FLEXIBLE ELEMENTS ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF A LATTICE ALUMINUM STRUCTURE

Luiz G. Grotto, Marco A. S. Pinheiro, João Kaminski Jr.

Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Departamento de Estruturas e Construção Civil, Campus universitário – Santa Maria - RS

luizgrotto@gmail.com, marco.pinheiro@eac.ufsm.br, jkj@ufsm.com.br

Abstract. In Brazil, it is very common to use steel lattice towers due to its ease of assembly, strength and low weight, being designed to support its own weight and cables, but mainly to stand the wind. Actions such as the wind, even at low intensity, may cause the structure to collapse if the excitation frequency has an intensity close to the natural frequencies of vibration. Dampers may be used to better dissipate the energy that dynamic actions require the structure because they have a lower stiffness and, consequently, lower transmission efforts of one bar to another. This study aims to evaluate the influence of flexible elements (rubber rings) and torque in the frequency and in the damping of the structure.

Palavras-chave: *Rigidez, Amortecimento, Estruturas de alumínio treliçadas*

1. INTRODUÇÃO

Perante a necessidade de prezar pelo meio ambiente, novos métodos construtivos e materiais têm sido aplicados na construção civil. Os metais ganharam mercado pela sua rapidez na execução, racionalidade, qualidade nas peças criadas e sustentabilidade. Torres treliçadas são exemplos de estruturas executadas em metal e utilizadas atualmente para passagem de redes de energia ou cabos de telecomunicação. Estas torres têm sido concebidas cada vez com menos material e mais planejamento, diminuindo assim os

custos. Mas essa diminuição de material traz como consequência o aumento da influência de ações dinâmicas como, por exemplo, ventos e sismos em vibrações na estrutura metálica.

Segundo Rao [1], vibrações são caracterizadas troca das parcelas de energia potencial em energia cinética em um sistema. Estas vibrações podem levar a estrutura ao colapso e os prejuízos econômicos seriam incalculáveis. Uma das maneiras de controlar as amplitudes de vibração e evitar que a estrutura venha a ruína é melhorar seu amortecimento. De acordo com Almeida [2], amortecimento é a dissipação da energia de um sistema vibratório e pode ser melhorado pela introdução de um amortecedor nas ligações da estrutura, induzindo uma compensação de fase ao movimento do sistema, diminuindo as amplitudes enquanto liberam a energia armazenada, como concluiu Moutinho [3].

O presente trabalho tem como finalidade avaliar o comportamento da estrutura frente ao aumento no torque e inserção de elementos flexíveis, aplicado nas suas ligações, na frequência natural e no amortecimento do modelo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Os principais materiais e equipamentos utilizados para este trabalho foram: uma estrutura de alumínio fixada em uma placa de concreto com oito parafusos (Fig 1), construída em perfis L de abas iguais (1,6 cm x 1,6 cm x 0,2 cm) de 20,1 cm de

comprimento, conectados por meio de parafusos, acelerômetros Bruel & Kjaer modelo 4513B, condicionador de sinais Bruel & Kjaer Pulse tipo 3160-A-042 (4ch input 50kHz), anéis de borracha com 8,36 mm de diâmetro externo e um disco metálico (peso de laboratório) de massa 1 kg.



Figura 1. Estrutura estudada

O disco será ligado a estrutura por um barbante. O experimento para avaliar a frequência e o amortecimento da estrutura baseia-se em aplicar uma força inicial, representada pelo peso próprio do disco metálico, e cessa-la abruptamente cortando o barbante (Fig. 2).

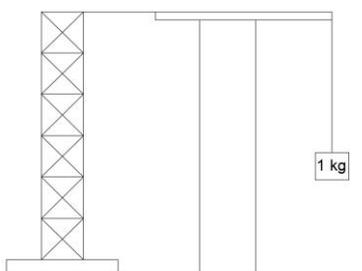


Figura 2. Configuração do experimento

As respostas dinâmicas horizontais da estrutura são obtidas por meio de dois acelerômetros, instalados no topo, em direções transversais. Os acelerômetros

captam as amplitudes de aceleração e estas são enviadas ao módulo condicionador de sinais, que amplifica e decodifica os sinais, os quais são enviados ao computador.

Para esta investigação, quatro configurações diferentes da ligação entre os perfis do modelo são avaliadas e estas configurações dizem respeito ao torque nos parafusos e da inclusão dos anéis de borracha nestas ligações (Tabela 1).

Tabela 1. Configurações do ensaio

Nome	Significado
T1cB	Torque de 1 Nm, uso de anéis de borracha
T5cB	Torque de 5 Nm, uso de anéis de borracha
T10cB	Torque de 10 Nm, uso de anéis de borracha
T10sB	Torque de 10 Nm, sem anéis de borracha

O programa utilizado para captura dos dados na interface *Pulse* é o *Time Data Recorder*. Para ter o acesso aos dados em arquivo de texto, é necessário outro programa, *Time Edit and Analysis*, que permite a conversão do arquivo original para .csv. Desta maneira, é possível trabalhar com uma ferramenta de planilhas, como o *Excel*, e gerar os gráficos para análise.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir do conjunto de 20 medições experimentais descritas no item 3 deste trabalho, a frequência e o amortecimento calculados são a média das frequências e amortecimentos das 5 avaliações, em cada uma das 4 configurações.

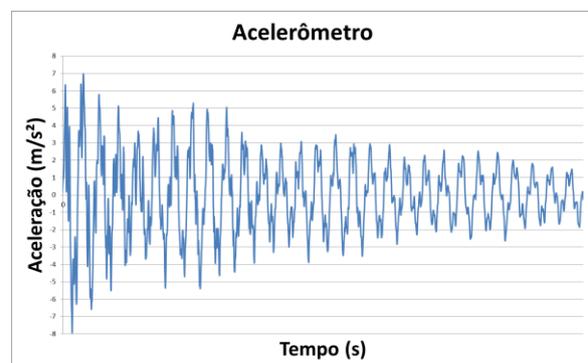


Figura 3. Sinal em T10sB

Uma típica resposta no tempo das medições realizadas é mostrada na Fig.3. Devido à dificuldade de obter uma resposta sem interferência de frequências mais altas que a fundamental da estrutura, (Fig 3), lança-se mão do uso de uma rotina computacional no software *MathCad*, que funciona como um filtro de baixa frequência, para retirar a influência de frequências muito elevadas, facilitando a identificação das propriedades dinâmicas do primeiro modo natural de vibração (Fig 4).

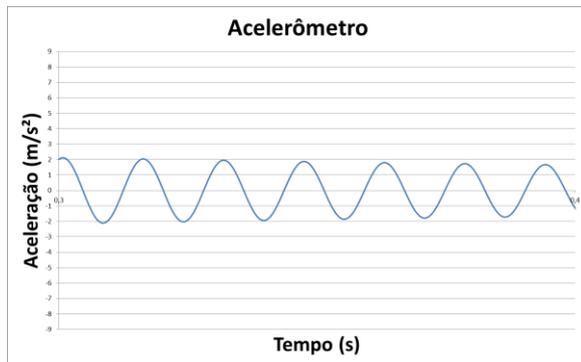


Figura 4. Sinal em T10sB filtrado

3.1 Cálculo da frequência

O cálculo da frequência natural f_n é feito pela correlação que a mesma tem com o período T_n , conforme equações 1 e 2.

Avaliam-se dois pontos seguidos de crista na parte superior do eixo do domínio tempo, subtraindo o tempo T_2 da segunda crista pelo tempo T_1 da primeira crista. O período natural T_n é dado pela Eq. 1. A frequência de resposta, neste caso coincidente com a frequência natural por se tratar de vibração livre, é obtida pela Eq. 2.

$$T_n = T_2 - T_1 \quad (1)$$

$$f_n = \frac{1}{T_n} \quad (2)$$

A Tabela 2 mostra os resultados do primeiro teste da configuração T10sB. Os resultados das demais configurações também permitem a organização em tabelas semelhantes a Tabela 2. Mas o Quadro 1

resume de forma mais compacta todos os resultados das configurações investigadas.

Tabela 2. Cálculo da frequência

	Tempo (s)	T2-T1 (s)	fn (Hz)
P1	0,7593		
P2	0,7748	0,0155	64,5161
P3	0,7905	0,0157	63,6943
P4	0,8060	0,0155	64,5161
P5	0,8215	0,0155	64,5161
P6	0,8371	0,0156	64,1026
P7	0,8527	0,0156	64,1026
P8	0,8683	0,0156	64,1026
P9	0,8839	0,0156	64,1026
P10	0,8994	0,0155	64,5161
P11	0,9150	0,0156	64,1026
P12	0,9305	0,0155	64,5161
P13	0,9460	0,0155	64,5161
P14	0,9615	0,0155	64,5161
P15	0,9771	0,0156	64,1026
P16	0,9926	0,0155	64,5161
P17	1,0082	0,0156	64,1026
P18	1,0238	0,0156	64,1026
P19	1,0394	0,0156	64,1026
		MÉDIA	64,2637

Quadro 1. Resumo dos valores de frequência

	TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 4	TESTE 5	
T1cB	FREQÜÊNCIA (Hz)	50,06	50,11	50,04	49,93	49,95
	MÉDIA	50,02				
	DESV. PADRÃO	0,07				
T5cB	FREQÜÊNCIA (Hz)	52,86	52,95	52,97	52,95	53,10
	MÉDIA	52,96				
	DESV. PADRÃO	0,09				
T10cB	FREQÜÊNCIA (Hz)	57,51	57,58	57,62	57,63	57,25
	MÉDIA	57,52				
	DESV. PADRÃO	0,16				
T10sB	FREQÜÊNCIA (Hz)	64,26	64,26	64,30	64,24	64,23
	MÉDIA	64,26				
	DESV. PADRÃO	0,03				

Destes resultados, pode-se perceber que aumentando o torque aplicado na estrutura e avaliando a mesma sem anéis de borracha nas ligações, a frequência natural tende a aumentar. Isto ocorre devido ao aumento na rigidez das ligações da estrutura.

3.2 Cálculo do amortecimento

O cálculo do amortecimento é obtido por meio do decremento logarítmico (Eq. 3) e relacionando, através de um logaritmo, suas amplitudes de aceleração. Novamente, mais de um par de cristas foram utilizados.

A Tabela 3 mostra os resultados da obtenção da razão de amortecimento crítico da primeira medição experimental de configuração T10sB.

$$\xi = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi / \delta)^2}}, \delta = \ln\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \quad (3)$$

Tabela 3. Cálculo do amortecimento

	Amplitude (m/s ²)	ln(A1/A2)	ξ(%)
P1	0,8346		
P2	0,8042	0,0371	0,5903%
P3	0,7661	0,0486	0,7734%
P4	0,6865	0,1096	1,7442%
P5	0,6709	0,0230	0,3661%
P6	0,6449	0,0396	0,6309%
P7	0,6230	0,0345	0,5489%
P8	0,6015	0,0350	0,5576%
P9	0,5850	0,0280	0,4449%
P10	0,5686	0,0283	0,4508%
P11	0,5476	0,0376	0,5991%
P12	0,5314	0,0300	0,4770%
P13	0,5075	0,0460	0,7325%
P14	0,4899	0,0355	0,5642%
P15	0,4593	0,0644	1,0254%
P16	0,4393	0,0445	0,7075%
P17	0,4256	0,0317	0,5041%
P18	0,4032	0,0542	0,8620%
P19	0,3922	0,0275	0,4383%
		MÉDIA	0,6676%

De posse dos resultados de todas as configurações, tem-se um resumo dos valores das taxas de amortecimento mostrado no Quadro 2.

Quadro 2. Resumo dos valores de amortecimento

		TESTE 1	TESTE 2	TESTE 3	TESTE 4	TESTE 5
T1cB	AMORTECIMENTO (%)	2,35%	2,12%	2,40%	2,31%	2,29%
	MÉDIA	2,30%				
	DESV. PADRÃO	0,11%				
T5cB	AMORTECIMENTO (%)	1,72%	1,60%	1,56%	1,61%	1,57%
	MÉDIA	1,61%				
	DESV. PADRÃO	0,06%				
T10cB	AMORTECIMENTO (%)	1,56%	1,61%	1,62%	1,56%	1,62%
	MÉDIA	1,59%				
	DESV. PADRÃO	0,03%				
T10sB	AMORTECIMENTO (%)	0,67%	0,60%	0,57%	0,64%	0,62%
	MÉDIA	0,62%				
	DESV. PADRÃO	0,04%				

É possível notar que o amortecimento aumenta com a inserção do anel de borracha e com a diminuição do torque aplicado. Isto

é atribuído a maior dispersão da energia imposta.

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados das respostas no tempo das acelerações desenvolvidas no topo da estrutura treliçada de alumínio, induzidas por deformações iniciais, as principais conclusões são resumidas aqui. A utilização do filtro “passa baixa” facilitou o estudo da vibração no domínio do tempo, mas acredita-se que, quando retirada essa influência nos estudos com maior rigidez, no entanto, os resultados possam ter alguma disparidade. A presença dos anéis de borracha com variação do torque, na ordem decrescente dos valores do torque, trouxe um decréscimo na frequência natural de vibração na ordem de 13% e um acréscimo de 1,4 vezes no amortecimento. A introdução do elemento flexível sem variar o torque de 10 Nm aplicado no modelo gera um decréscimo no valor da frequência de 10% e um amortecimento 2,6 vezes maior.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é apoiado pelo Nest, Núcleo de Estudos em Experimentação e Análise Numérica de Estruturas, do Departamento de Estruturas e Construção Civil da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

REFERÊNCIAS

- [1] S.S. Rao, Vibrações Mecânicas, São Paulo, SP: 2008.
- [2] M.T. Almeida, Vibrações Mecânicas para Engenheiros, São Paulo, SP: 1990.
- [3] C.M.R. Moutinho, Controlo de Vibrações em Estruturas de Engenharia Civil, Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto: 2007.