

08 a 11 de Outubro de 2018  
Instituto Federal Fluminense  
Búzios - RJ

## ANÁLISE DE VIBRAÇÕES INDUZIDAS PELO VENTO EM PÓRTICOS METÁLICOS COM USO DE MODELAGEM COMPUTACIONAL

**Matheus Pereira da Silva**<sup>1</sup> – matheuslv2012@gmail.com

**Mayk Oris Guerreiro**<sup>1</sup> – mog.eng@uea.edu.com

**Esterfeny Guedes Pires**<sup>1</sup> – esterfeny@gmail.com

<sup>1</sup> Engenheiro Civil – Manaus, AM, Brazil

**Resumo.** A realidade econômica do nosso país tem exigido dos engenheiros projetos em estrutura metálica cada vez mais leves e econômicos, sem abdicar da segurança. Em contrapartida, tem-se estruturas cada vez mais sensíveis à efeitos decorrentes do vento, tais como a vibração. Visando-se a economia da estrutura, as ligações dos perfis também tem sido foco de estudos, uma vez que há o objetivo de se otimizar os custos da construção, garantindo a adequada distribuição de esforços enquanto mantém-se uma estrutura que atenda ao prescrito pela ABNT NBR 8800:2006 Projetos de Estruturas de Aço e Mistras de Aço e Concreto, nos estados limites últimos e de serviço. Visando realizar uma análise das vibrações induzidas pelo vento com uso de modelagem computacional, usou-se um pórtico espacial metálico em perfil W 235 X 90, com 15 pavimentos, variando-se as configurações de apoio (fixo e 2º gênero) e variando a distribuição dos esforços nas ligações através da semirrigidez em 75%, 50% e 25%. Após a análise, pôde-se aferir que para ambos os tipos de apoio, os resultados referentes à rigidez são similares: Estruturas mais rigidez apresentam maior frequência de vibração, devido à concentração de tensões nas conexões, devendo-se, para otimizar a relação entre rigidez e vibração, adotar ligações semirrígidas em até 75% da rigidez total.

**Palavras-Chave:** Modelagem Computacional, Vibrações, Ligações.

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente, há um aumento considerável na demanda por edifícios mais esbeltos, econômicos e de rápida construção. Com o aumento da tecnologia e das pesquisas sobre os materiais metálicos, perfis mais leves e compactos vêm surgindo, permitindo que se construam edificações mais esbeltas. Em contrapartida, tais edifícios metálicos se tornam mais sujeitos à efeitos de segunda ordem, vibrações e deslocamentos excessivos.

Juntamente a essa demanda por perfis mais leves, há a exigência por formas de conexão de perfis mais econômicas que distribuam de maneira otimizada os esforços, enquanto apresenta velocidade construtiva e economicidade.

Assim sendo, técnicas que otimizem o tempo de análise da influência das ligações na vibração de perfis fazem-se necessários, de modo que as tradicionais metodologias analíticas perdem espaço para devidas análises por métodos computacionais.

Para parâmetro técnico, devemos atender no que se refere à vibrações aos limites prepostos pela Norma Brasileira 8800 de 2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, analisando configurações e ligações que consigam valores adequados de vibração mantendo a economicidade da estrutura.

Da mesma forma as ligações são dimensionadas pelas prescrições normativas da NBR 8800:2008, sendo definidas ligações rígidas e semirrígidas para análise, com uso do programa comercial SAP 2000.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para análise, a estrutura modelo foi definida como um pórtico metálico de 15 pavimentos, com 6 metros de vão e 3 metros de pé-direito, conforme observado na Figura 1, sendo o perfil utilizado o W 235 X 90. Foram analisados os resultados para 10 modos de vibração, em estruturas com rigidez em 75%, 50% e 25%, e apoios fixos e de 2º gênero, de modo a se obter uma análise heterogênea da vibração em diferentes configurações de pórticos.

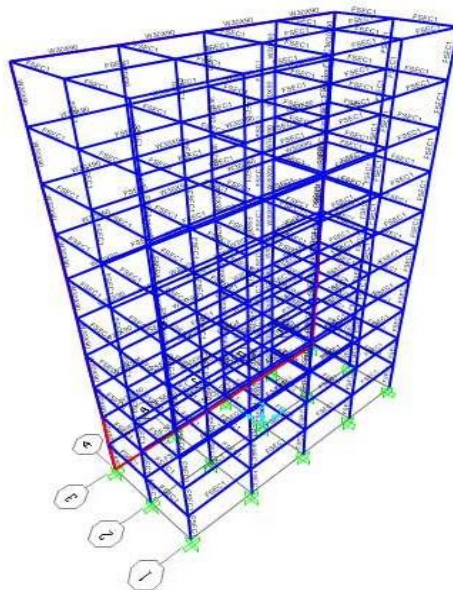


Figura 1 – Pórtico Espacial Metálico

## 2.1 Definição dos Carregamentos

Para a definição dos carregamentos referentes à força de arrasto do vento para a cidade de Manaus, com velocidade básica de 33 metros por segundo conforme mapa de isopletas preposto pela NBR 6123 – Ação do Vento nas Edificações.

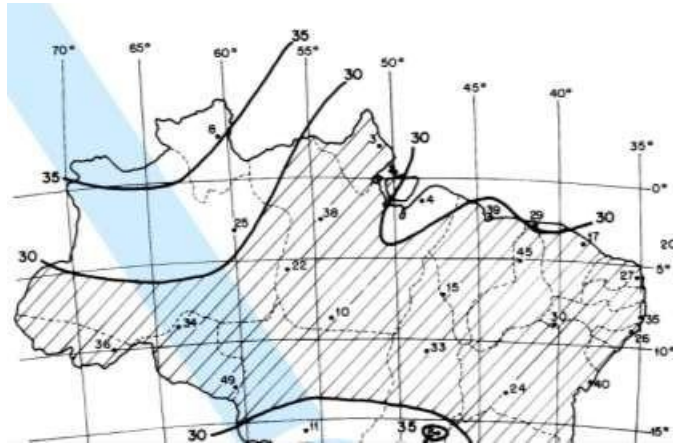


Figura 2- Mapa de Isopletas (NBR 6123).

Inicialmente são obtidas as forças de arrasto em  $\text{Kn/m}^2$  nas direções longitudinal e transversal das edificações, utilizando a fórmula da força do arrasto (1), prescrita pela ABNT NBR 6123:1988.

$$F_d = C_d \cdot q \cdot A_e \quad (1)$$

Onde:  $F_d$  - força externa à edificação agindo na superfície plana de área  $A_e$ ,  $C_d$  - coeficiente de arrasto;  $q$  - carga dinâmica de vento e  $A_e$  - área da projeção ortogonal da edificação sobre um plano perpendicular à direção do vento, inicialmente com valor unitário. O parâmetro  $q$ , dado em  $\text{Kn}$ , é função da velocidade característica, a qual depende da velocidade básica ( $V_0$ ) e dos fatores  $S_1$ ,  $S_2$  e  $S_3$ , obtendo-se a velocidade característica através da aplicação da equação 2.

$$V_k = V_0 \cdot S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \quad (2)$$

Na cidade de Manaus, a ABNT NBR 6123:1988 prescreve o valor de 33 m/s para a velocidade básica. As características do local da edificação, de topografia do terreno e geometria do edifício, e o tipo de construção conduzem aos seguintes valores, nas duas direções:  $S_1 = 1,0$ ;  $S_2 = 0,956$  e  $S_3 = 1,0$ .

As forças de arrasto por  $\text{m}^2$  nas direções longitudinal (horizontal) e transversal, ficam, assim, definidas conforme a aplicação da equação da força de arrasto, que atuará em  $\text{Kn/m}^2$ , sendo calculada na ordem de grandeza de 0,845  $\text{Kn/m}^2$ , atuando na face de maior dimensão da edificação. Na figura abaixo, a face rosada indica o sentido da ação do vento na edificação.

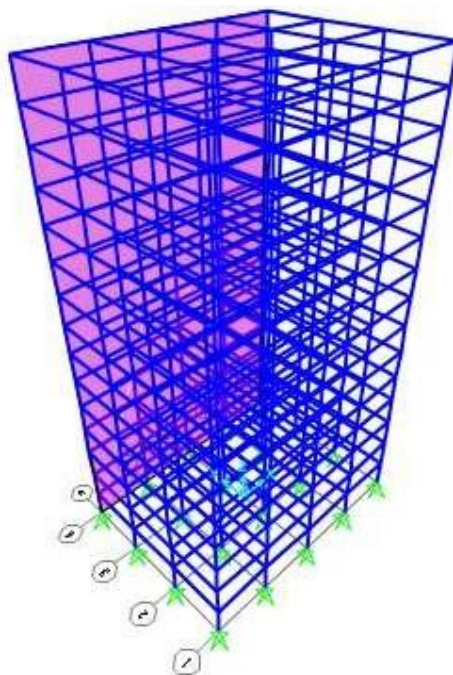


Figura 3- Face de Ação da Força de Arrasto.

## 2.2 Definição da Semirrigidez nos apoios

A NBR 8800 – Projeto de Estrutura de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios, permite definir a rotação limite em Kn/Rad.m nos nós da estrutura para que a mesma possa ser considerada rígida, conforme a equação (3) abaixo:

$$K_{jr} \geq 25 \cdot E \cdot (I_B / L_B) \quad (3)$$

Conforme metodologia preconizada por Hanser & Nardino (2015), pode-se estimar percentuais de semirrigidez, referentes à parcela de transmissão de momento dos nós para a barra, neste trabalho em específico, adotou-se parcelas referentes a 100% ( nós rígidos), 75%, 50% e 25%.

Os valores obtidos através da aplicação destes percentuais na equação (2) encontram-se dispostos na tabela abaixo:

Tabela 1- Parâmetros de Semirrigidez

| Ligação Semirrígida | Kn/m.rad |
|---------------------|----------|
| 100%                | 49.364   |
| 75%                 | 37.023   |
| 50%                 | 24.682   |
| 25%                 | 12.341   |

A inserção e consideração destas informações no software comercial SAP 2000 se deu através do seguinte comando: Assign > Frame > Release > Partial Fixity/Release, tendo os valores informados na tela de inserção observada abaixo:

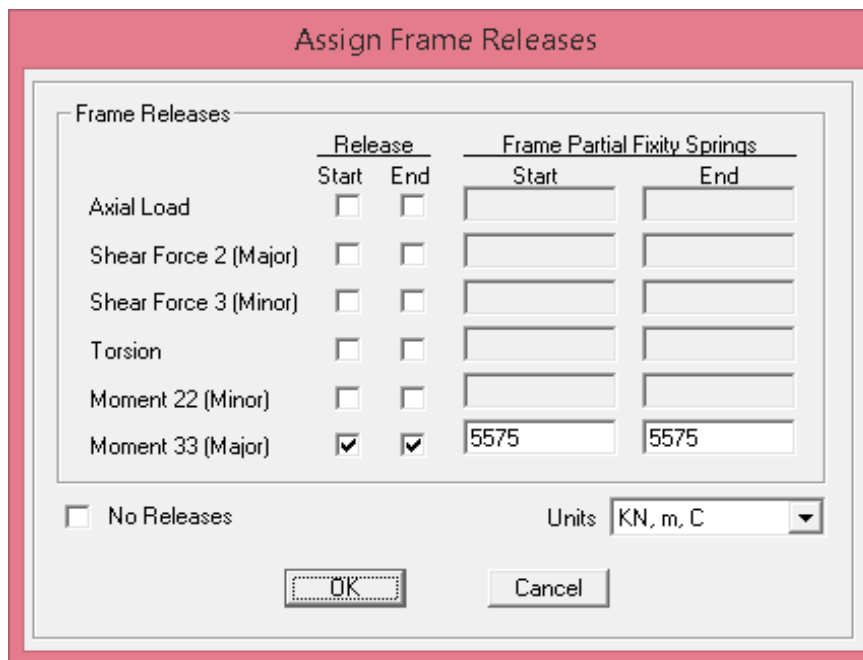


Figura 4- Interface do Software SAP 2000.

### 2.3 Metodologia de Análise de Vibração

No software comercial SAP 2000, são permitidas diversas análises diferentes, dentre elas, a análise modal, que permite aferir as frequências de vibração da estrutura, para isto, deve-se através do SAP selecionar a opção DEFINE e LOAD CASES posteriormente, levando aos menus das Figuras 5 e 6.

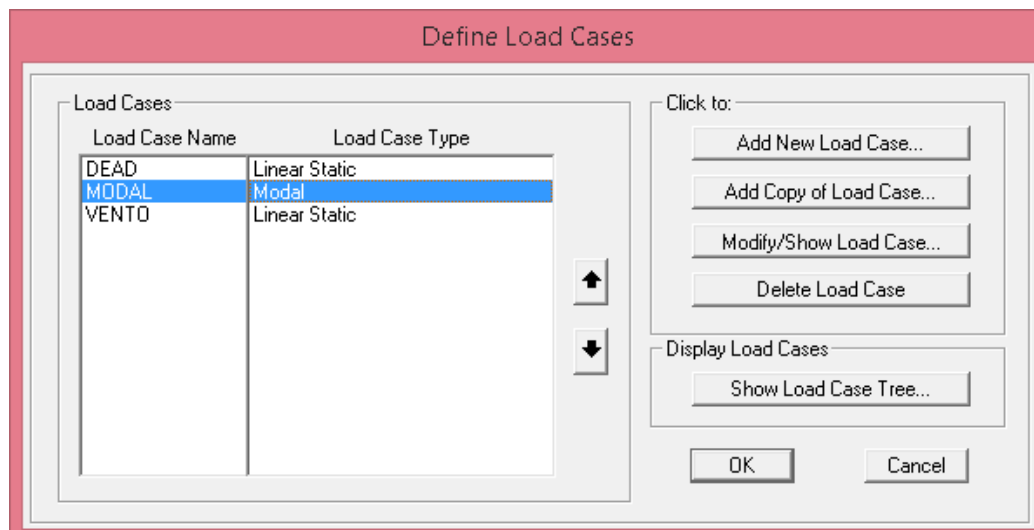


Figura 5- Interface do Software SAP 2000.

A partir desta interface, deve-se selecionar o Load Case Name “MODAL” e clicar em Modify/Show Load Case.

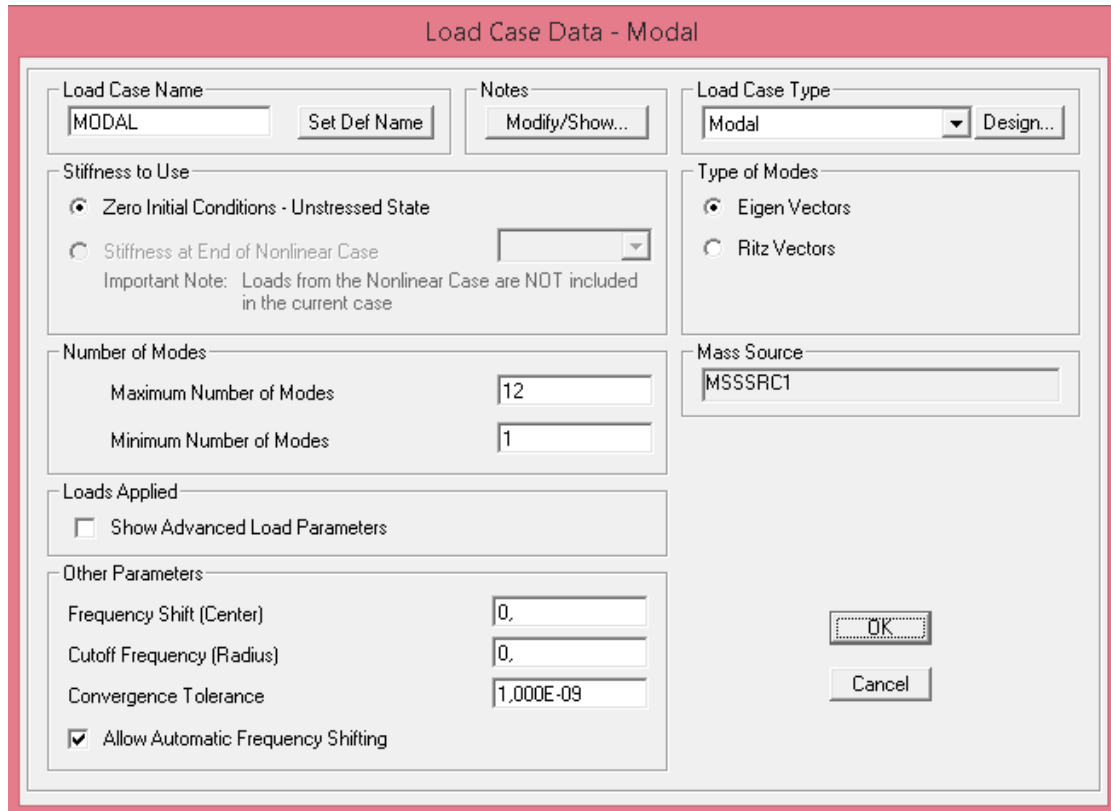


Figura 6- Interface do Software SAP 2000.

Após esta configuração, deve-se seguir para o comando Run Analysis, onde serão aferidas as frequências de vibração das estruturas.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a edificação com apoios fixos ( engastados ), analisou-se os modais de vibração para configurações semirrígidas de 75%, 50% e 25%, permitindo aferir a influência destas na vibração, conforme demonstrado na tabela abaixo:

Tabela 1 – Vibração da Estrutura para Configurações Semirrígidas  
**VIBRAÇÕES FORÇADAS - ESTRUTURA  
 ENGASTADA**

| Modo      | 75%             | 50%   | 25%   |
|-----------|-----------------|-------|-------|
|           | Frequência (Hz) |       |       |
| <b>1</b>  | 0,9             | 0,836 | 0,75  |
| <b>2</b>  | 1,619           | 1,46  | 1,26  |
| <b>3</b>  | 2,4             | 2,35  | 2,279 |
| <b>4</b>  | 2,78            | 2,59  | 2,35  |
| <b>5</b>  | 4,72            | 4,53  | 4,16  |
| <b>6</b>  | 4,89            | 4,67  | 4,55  |
| <b>7</b>  | 5,8             | 5,57  | 5,27  |
| <b>8</b>  | 6,2             | 6,18  | 5,79  |
| <b>9</b>  | 6,61            | 6,35  | 6,1   |
| <b>10</b> | 6,78            | 6,57  | 6,52  |

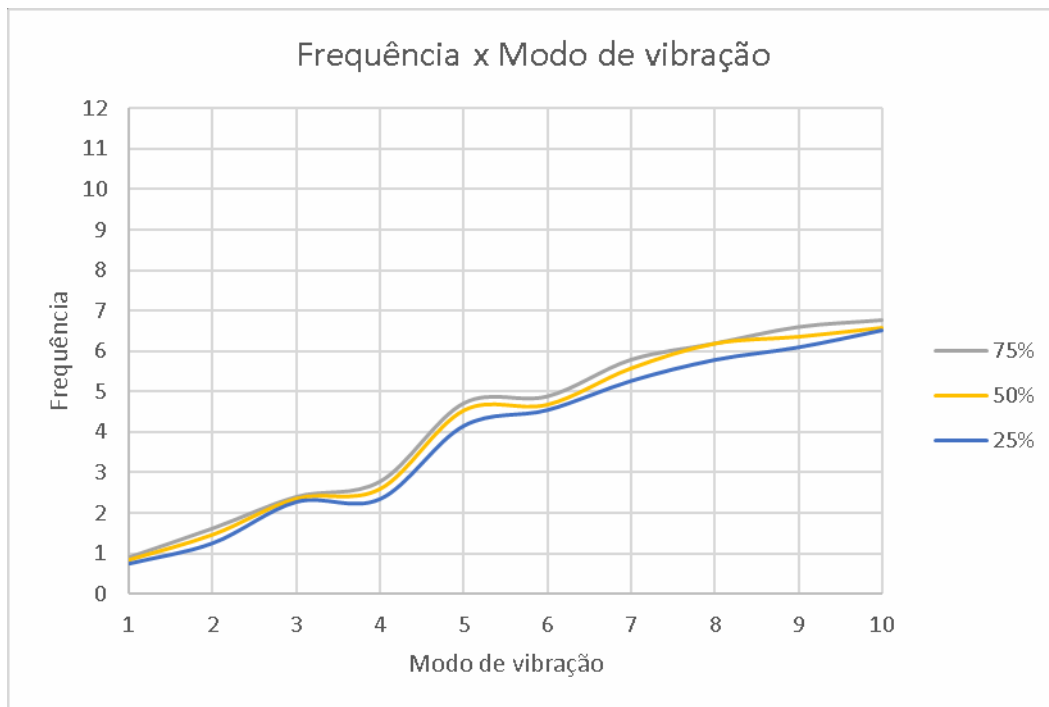


Figura 7- Gráfico Vibração x Modal na Estrutura de Apoio Fixo

Pode-se aferir neste gráfico que a redução da rigidez não impacta significativamente na frequência, apresentando valores ligeiramente superiores quando há maior distribuição dos esforços ao longo da estrutura, isto é, menor rigidez.

Para a estrutura com apoio de 2º gênero, com menor restrição de movimentação em torno do apoio, os valores encontram-se abaixo:

Tabela 2 – Vibração da Estrutura de Apoio de 2º Gênero para Configurações Semirrígidas

**VIBRAÇÕES FORÇADAS - ESTRUTURA COM APOIO DE 2º GÊNERO**

| Modo      | Frequência (Hz) |      |       |
|-----------|-----------------|------|-------|
|           | 75%             | 50%  | 25%   |
| <b>1</b>  | 0,81            | 0,7  | 0,631 |
| <b>2</b>  | 1,24            | 1,05 | 0,99  |
| <b>3</b>  | 1,71            | 1,64 | 1,6   |
| <b>4</b>  | 2,58            | 2,25 | 2,04  |
| <b>5</b>  | 4,63            | 4,08 | 3,72  |
| <b>6</b>  | 4,7             | 4,54 | 4,46  |
| <b>7</b>  | 5,76            | 5,35 | 5,12  |
| <b>8</b>  | 6,17            | 6    | 5,53  |
| <b>9</b>  | 6,51            | 6,07 | 5,99  |
| <b>10</b> | 6,82            | 6,47 | 6,42  |



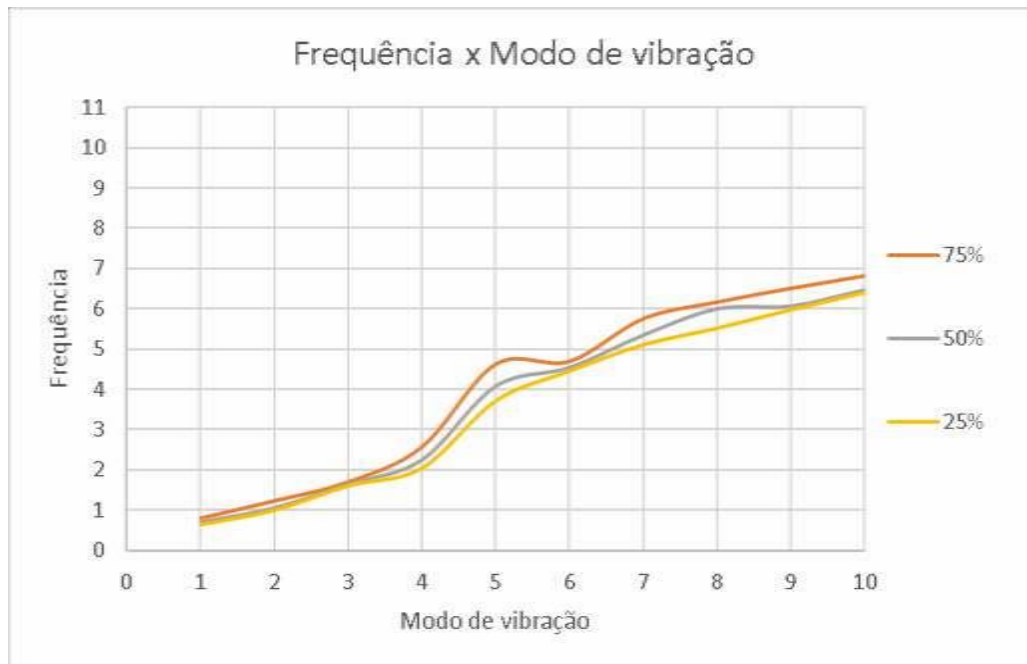


Figura 8- Gráfico Vibração x Modal na Estrutura de Apoio de 2º Gênero

#### 4. CONCLUSÕES

Após rigorosa análise em ambas as estruturas, modeladas de modo a serem suscetíveis à força de arrasto do vento, pode-se aferir para ambas as edificações, com apoio fixo ou de 2º gênero, que os modais de vibração tendem a apresentarem maiores valores de frequência em estruturas com ligações mais rígidas.

Tal conclusão confirma computacionalmente aquilo que é conhecido técnica e intuitivamente, a menor distribuição dos esforços na estrutura tende a torna-la menos rija, permitindo com maior facilidade a propagação de ondas de vibração ao longo do material.

Na estrutura com redução em apenas 75% da rigidez total, pode-se aferir os maiores valores de frequência são os mais altos, devido à concentração de tensões nas ligações, sendo adequado utilizar neste liame estruturas com ligações em até 50% de distribuição parcial de solicitação na ligação para os perfis, reduzindo-se a rigidez total e permitindo uma maior trabalhabilidade do pórtico metálico.

#### REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6123: Forças devido ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- BAIÃO FILHO, O. T. B.; SILVA, A. C. V. Ligações para estruturas de aço: guia prático para estruturas com perfis laminados. 6.ed., 2014. 313 p.
- HIGAKI, B. E. Contribuição à análise estrutural de edifícios de aço com ênfase nas ligações semirígidas. 2014. 278p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.



KARTAL, M. E., BASAGA, H. B.; BAYRAKTAR, A.; MUVAFIK, M. *Effects of semi rigid connection on structural responses. electronic journal of structural engineering.* 2010.

MAGGI, Y. I. *Análise numérica, via M.E.F., do comportamento de ligações parafusadas viga-coluna com chapa de topo.* 2000. 235p. *Dissertação (Mestrado em Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.*

## **ANALYSIS OF WIND INDUCED VIBRATIONS IN METALLIC FRAMES USING COMPUTATIONAL MODELLING**

**Abstract.** *The economic reality of our country has demanded from the engineers projects in metallic structure that are increasingly lighter and more economical, without giving up security. On the other hand, there are structures that are increasingly sensitive to wind effects, such as vibration. Aiming at the structure economy, the profile links have also been the focus of studies, since there is the objective of optimizing construction costs, ensuring adequate distribution of effort while maintaining a structure that meets the requirements of the ABNT NBR 8800: 2006 Projects of Steel and Mixed Structures of Steel and Concrete, in the last states limit of service. In order to perform a wind-induced vibration analysis with the use of computational modeling, a metallic space gantry with a W 235 X 90 profile was used, with 15 floors, varying the support configurations (fixed and 2nd genus) and varying the distribution of the efforts in the semi-rigid bonds at 75%, 50% and 25%. After the analysis, it was possible to verify that for both types of support, the results regarding the rigidity are similar: Structures with more rigidity present a higher frequency of vibration, due to the concentration of stresses in the connections, and to optimize the relation between rigidity and vibration, adopt semi-rigid connections up to 75% of total rigidity*

**Key-Words:** *Computer Modelling, Vibrations, Bonds.*