

# ANÁLISE NUMÉRICA DE VIBRAÇÕES NA PASSARELA PÊNSIL DE PIRACICABA

## NUMERICAL ANALYSIS OF VIBRATIONS IN THE PIRACICABA SUSPENSION FOOTBRIDGE

Samara P. Pereira <sup>(1)</sup> (A), Graciela N. Doz <sup>(2)</sup>

(1) Mestranda, Universidade de Brasília, Brasília, Brasil

(2) Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>., Universidade de Brasília, Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil, Brasil

Endereço de contato: samara.pimentell@gmail.com; (A) Apresentador

**Código de identificação: T6-30**

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo contribuir com o desenvolvimento e caracterização da análise dinâmica em estruturas de passarelas construídas em madeira *Eucalyptus Citriodora*, material este com propriedades mecânicas satisfatórias e relativamente leve, frequentemente usada para fins estruturais. Essas características aliadas são responsáveis por gerar estruturas leves e com seção transversal reduzida. No entanto, em estruturas como as passarelas, o aumento da flexibilidade pode acarretar sérios problemas vibratórios, comprometendo o conforto dos usuários e, em casos extremos, a segurança estrutural. Para tratar o problema de vibrações excessivas em passarelas, faz-se necessário o conhecimento da frequência de excitação imposta pelos usuários, bem como o conhecimento das características dinâmicas da estrutura. Portanto, uma simulação numérica pelo método dos elementos finitos utilizando o software comercial ANSYS 15 ®, foi realizada na Passarela Pênsil de Piracicaba de maneira a obter tais características. Algumas normas e guias técnicos têm especificado métodos e parâmetros para qualificar o desempenho estrutural dinâmico. Entretanto, a análise detalhada destas normas ainda indica discrepâncias nas recomendações de umas e outras e os resultados obtidos da simulação em diferentes cenários mostram que a passarela estudada pode apresentar problemas de vibrações excessivas na direção vertical.

**Palavras chave:** passarela; dinâmica; vibrações; ANSYS

### Abstract

*This work aims to contribute to the development and characterization of the dynamic analysis in structures of footbridges built in Eucalyptus Citriodora wood, this material with satisfactory and relatively weightless mechanical properties, frequently used for structural purposes. These allied features are responsible for generating weightless structures and reduced cross-section. However, in structures such as footbridges, increased flexibility can lead to serious vibration problems, compromising user comfort and, in extreme cases, structural safety. To overcome the problem of excessive vibrations in walkways, it is necessary to know the frequency of excitation imposed by the users, as well as the knowledge of the dynamic characteristics of the structure. Therefore, a numerical simulation using the finite element method using the commercial software ANSYS 15 ® was performed at the Piracicaba Suspension Footbridge in order to obtain such characteristics. Some standards and technical guides have specified methods and parameters to qualify dynamic structural performance. However, the detailed analysis of these standards still indicates discrepancies in the recommendations of each other and the results obtained from the simulation in different scenarios show that a studied footbridge can present problems of excessive vibrations in the vertical direction.*

**Keywords:** footbridge; dynamics; vibrations; ANSYS

## 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento dos centros urbanos e da necessidade de se criar uma infraestrutura que permita o bom funcionamento das cidades, soluções de transporte que permitam o deslocamento de pessoas de maneira eficiente faz se necessário. Desta maneira, o sistema viário em questão, dentre outras necessidades, deverá prever a construção de estruturas de passarelas, que se tornam cada vez mais presentes nas cidades, de modo a garantir a travessia segura de pedestres sobre vias expressas e o interligamento entre bairros.

Passarelas estão frequentemente sujeitas a ações dinâmicas, de ordem periódica ou similar, causadas pelas cargas de pedestres enquanto estes atravessam a estrutura. Tais carregamentos representativos de atividades como caminhar e correr ocorre basicamente em baixas frequências, podendo ser igualadas às frequências naturais da estrutura, dando origem ao fenômeno conhecido como ressonância, comprometendo assim o conforto dos usuários e em alguns casos, a segurança estrutural. Para contornar o problema de vibrações excessivas em passarelas, faz-se necessário o conhecimento da frequência de excitação imposta pelos usuários, bem como o conhecimento das características dinâmicas da estrutura. Estas condições apuradas após uma análise dinâmica da estrutura darão ao projetista subsídio para caracterizar a estrutura quanto a um comportamento adequado ou não, diante à ação gerada pelos pedestres. Apesar de todo estudo que vem sendo realizado, ainda assim é evidente a dificuldade em propor um modelo matemático que simule de maneira precisa o carregamento provocado pelos pedestres, uma vez que várias variáveis cercam o problema: frequência, velocidade e comprimento dos passos; circunstâncias externas relacionadas à sua localização; grau de sincronismo dos pedestres; etc.

À vista disso entende-se que a análise dinâmica em passarelas induzidas por pedestres é um problema complexo que se estende às diversas normas em vigor. Algumas normas e guias técnicos têm especificado métodos e parâmetros para qualificar o desempenho estrutural, sendo estes divididos em dois grupos: os que limitam as frequências próprias; e os que limitam os valores das acelerações.

O presente trabalho foi desenvolvido à luz de revisões bibliográficas em textos normativos e estudos de alguns autores, bem como de uma análise numérica na Passarela Pênsil de Piracicaba, utilizando o método dos elementos finitos, com o software ANSYS 15 ®, de maneira a poder qualificar a estrutura quando aos limites de serviço de vibrações, visto que, de acordo alguns usuários da passarela, vibrações são perceptíveis.

## 2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O problema de vibrações induzidas pelo caminhar humano tem sido observado durante quase dois séculos [01]. Usualmente as passarelas são dimensionadas considerando apenas cargas estáticas que supostamente deveriam reproduzir as solicitações externas, entre as quais uma das mais importantes é a originada pelo caminhar das pessoas. No entanto, a caracterização estática é insuficiente para descrever de forma apropriada os efeitos em tais estruturas.

Observa-se que há um aumento no número de passarelas que tem apresentado alguma forma de dano devido às cargas dinâmicas, resultando assim em uma maior preocupação dos pesquisadores, principalmente a partir de relatos do acontecido na passarela Millenium, em Londres e na Passarela Solférino, em Paris (Figura 1), que tiveram de ser fechadas logo após inauguradas, por apresentarem vibrações laterais excessivas.



Figura 1a : Millenium Bridge, em Londres



Figura 1b : Pont du Solférino, em Paris

Após testes realizados na passarela Solférino foram identificados três modos de vibrações críticos, dentre eles dois modos de torção com 1.94 Hz e 2.2 Hz. A passarela Millenium, suspensa por três vãos, apresentou altas amplitudes de vibrações em quatro modos diferentes, com frequência aproximada de 0,8 Hz na extensão sul, 1,0 Hz na extensão norte e 0,95 Hz no vão central [2].

Com a finalidade de analisar o estado limite de serviço relacionado às vibrações induzidas por pedestres, torna-se necessário definir a carga dinâmica imposta pelos mesmos. De acordo com alguns autores, entre eles Bachmann e Rainer (1995), a função de carga considerada periódica  $F(t)$  pode ser descrita matematicamente através de séries de Fourier, como a soma de uma parcela estática, devido ao peso dos pedestres, e uma parcela flutuante, representativa da carga dinâmica, para as direções vertical, lateral e longitudinal, respectivamente, conforme mostra as equações (1) a (3):

$$F_{p,v}(t) = G + G \sum_{i=1}^n \alpha_{i,v} \sin(2 \cdot \pi \cdot i \cdot f_s \cdot t - \varphi_i) \quad (1)$$

$$F_{p,lat}(t) = G \sum_{i=1}^n \alpha_{i,lat} \sin(2 \cdot \pi \cdot i \cdot \frac{1}{2} f_s \cdot t - \varphi_i) \quad (2)$$

$$F_{p,long}(t) = G \sum_{i=1}^n \alpha_{i,long} \sin(2 \cdot \pi \cdot i \cdot f_s \cdot t - \varphi_i) \quad (3)$$

Sendo:  $G$  = Força estática (referente ao peso do pedestre, usualmente adotada como 700N. (Para as direções horizontais esta parcela é nula);

$\alpha_i$  = Coeficiente de Fourier (também chamado de ‘fator dinâmico de carga’), do  $i$ -ésimo harmônico;

$f_s$  = Frequência do passo, em hertz;

$t$  = Tempo, em segundos;

$\varphi_i$  = Ângulo de fase do  $i$ -ésimo harmônico em relação ao primeiro;

$n$  = Número de harmônicos considerados;

Os coeficientes de Fourier, bem como os ângulos de fase, são objetos de intensas pesquisas no meio científico e discordâncias nos valores dados por diversos autores são encontradas.

As orientações normativas analisadas para o cálculo de passarelas seguem duas linhas distintas. A primeira linha exclui a necessidade uma análise dinâmica, por fazer menção à exclusão de faixas de frequências consideradas críticas (aquelas situadas num intervalo de atuação das cargas induzidas pelos pedestres). A segunda linha diz respeito à aceitação do nível de aceleração da estrutura, onde limites são especificados, de maneira a assegurar o conforto dos usuários. Como exemplo de códigos nacionais e internacionais aqui utilizados para qualificar a passarela em estudo, pode-se citar: NBR 7188 (2013) [3], ISO10137 (2007) [4], Eurocode 1 (2003) [5], Eurocode 5 (2004) [6], AASHTO (2009) [7], ONT83[8], BS5400 [9].

A norma brasileira que dita questões relacionadas a cargas móveis em passarelas (NBR7188) [3], estrutura foco deste estudo, apresenta conceitos estáticos para a representação da ação humana e, conseqüentemente, nenhum parâmetro relacionado ao conforto dos pedestres. A edição mais recente da norma (2013) acrescenta ainda um item a respeito de passarelas esbeltas, leves, sensíveis à ação dinâmica dos pedestres, principalmente em estruturas de aço, mistas, estaiadas ou pênseis, denominadas 'passarelas especiais' onde a norma firma a necessidade da comprovação da estabilidade global da estrutura e da verificação dos diversos elementos estruturais através de modelos dinâmicos, no entanto, nenhum parâmetro para tal verificação é exposto.

A Organização Internacional para Padronização (ISO 10137) [4] ao analisar questões relacionadas ao estado limite de serviço contra vibrações, para base de projeto de estruturas, aborda desde a caracterização da força dinâmica produzida pela ação humana, até os critérios de conforto a serem adotados. A verificação de projeto deve ser estabelecida de acordo com o tráfego de pedestres a ser admitidos na passarela durante a sua vida útil, considerando os seguintes cenários: um pedestre atravessando a passarela e outro no meio do vão; um fluxo médio de pedestres, com base numa taxa de ocorrência diária; um fluxo grande de pedestres; e eventos festivos e/ou coreográficos ocasionais, quando aplicáveis. O guia ainda apresenta uma proposta para caracterizar a ação de multidões. A aceleração máxima vertical permitida para uma passarela com frequência aproximada de 2.0 Hz é de 0.6 m/s<sup>2</sup>. A aceleração máxima horizontal permitida seguindo o mesmo critério, não deve exceder a 0.22 m/s<sup>2</sup>.

O código Europeu 1 [5] se baseia nas duas linhas de análise dinâmica já apresentadas, apesar de não expor metodologias para a caracterização da força que é produzida pelos pedestres em uso da passarela. A norma propõe alguns valores base para as ações geradas pelas pessoas e formulações para caracterizar o critério de conforto dos usuários. Os critérios de conforto devem ser definidos em termos de aceleração máxima aceitável em qualquer parte da plataforma, não devendo exceder a 0,7 m/s<sup>2</sup> na direção vertical e 0,15m/s<sup>2</sup> na direção horizontal. Pode-se observar ainda que, para passarelas com vibrações horizontais acima de 2,5 Hz e verticais acima de 5 Hz, torna-se dispensável a análise dinâmica. Para passarelas com frequências horizontais na faixa de 1,5 Hz e 2,5 Hz e verticais entre 3 Hz e 5 Hz uma verificação dos critérios de conforto pode ser especificado para o projeto em particular, não sendo necessário. Abaixo desses valores, as verificações de critérios de conforto devem ser realizadas.

Já o código Europeu 5 [6], que contém diretrizes para projetos de passarelas de madeira, isenta de verificações quanto a vibrações, estruturas que apresentam frequências naturais na direção vertical e horizontal acima de 5 Hz e 2,5 Hz, respectivamente. A norma limita a aceleração na direção vertical em 0,7 m/s<sup>2</sup> e na direção horizontal em 0,2 m/s<sup>2</sup>. Algumas formulações simplificadas para passarelas simplesmente apoiadas são apresentadas.

A Associação Norte-Americana de especialistas rodoviários e de transporte (AASHTO) [7] através do guia de especificações para projetos de passarelas recomenda a princípio o uso de uma carga equivalente de modo a substituir a carga dinâmica provocada pelos usuários de tais estruturas. A norma estabelece que a frequência fundamental no modo vertical da passarela sem carga deve ser maior do que 3 Hz para evitar o primeiro harmônico. No sentido lateral, a frequência da passarela deve ser superior a 1,3 Hz. Se a frequência fundamental não puder satisfazer estas limitações ou se o segundo harmônico é uma preocupação, deve ser feita uma avaliação do desempenho dinâmico. Uma simplificação ainda é proposta, onde ao invés de avaliar a passarela quanto às vibrações verticais, pode-se verificar se um dos seguintes critérios abaixo é satisfeito:

$$f \geq 2,86 \ln (180/W) \quad (3)$$

$$W \geq 180.e^{(-0,35.f)} \quad (4)$$

Sendo:  $f$  = frequência fundamental na direção vertical (Hz)

$W$  = Peso da estrutura, incluindo apenas o peso próprio (Kips)

A norma da província de Ontário (ONT 83) [8] estabelece que a aceleração máxima, em metros por segundo ao quadrado, resultante do deslocamento de um pedestre ao longo da passarela, seja limitada a:

$$a_{\text{máx}} = 0,25 \cdot f^{0,78} \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (5)$$

Em um contexto geral, observa-se nas normas avaliadas que as mesmas apontam discrepâncias nos valores considerados satisfatórios de acelerações máximas que as passarelas podem apresentar. As figuras 2 e 3 exemplificam tal situação para alguns valores de frequências das estruturas para carregamentos verticais e horizontais respectivamente.

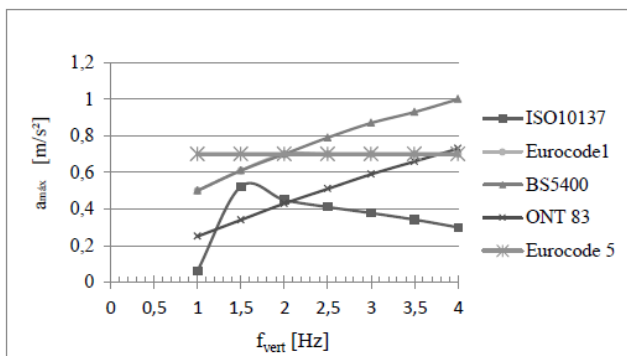


Figura 2 – Acelerações verticais máximas

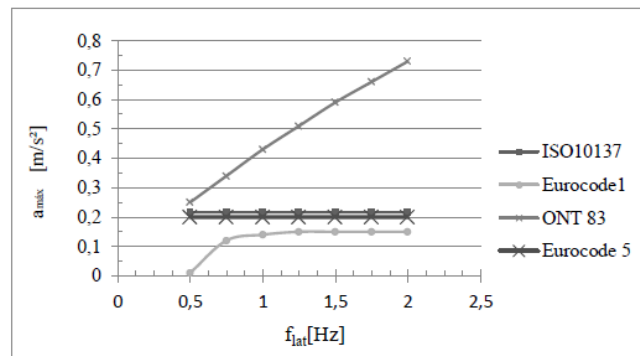


Figura 3 – Acelerações horizontais máximas

### 3. ANÁLISE NUMÉRICA DA PASSARELA PÊNSEL DE PIRACICABA

#### 3.1 Descrição da estrutura

A Passarela Pênisel construída sobre o rio Piracicaba, em Piracicaba, estado de São Paulo, apresenta um comprimento total igual a 105 m, sendo 75 m em vão suspenso, e largura igual a 4 m, estando os pendurais espaçados 3 m. A relação entre o vão central e a flecha é de 6,25 e a relação entre o vão e a altura das vigas treliçadas é de 50, conforme ilustra a Figura 4.

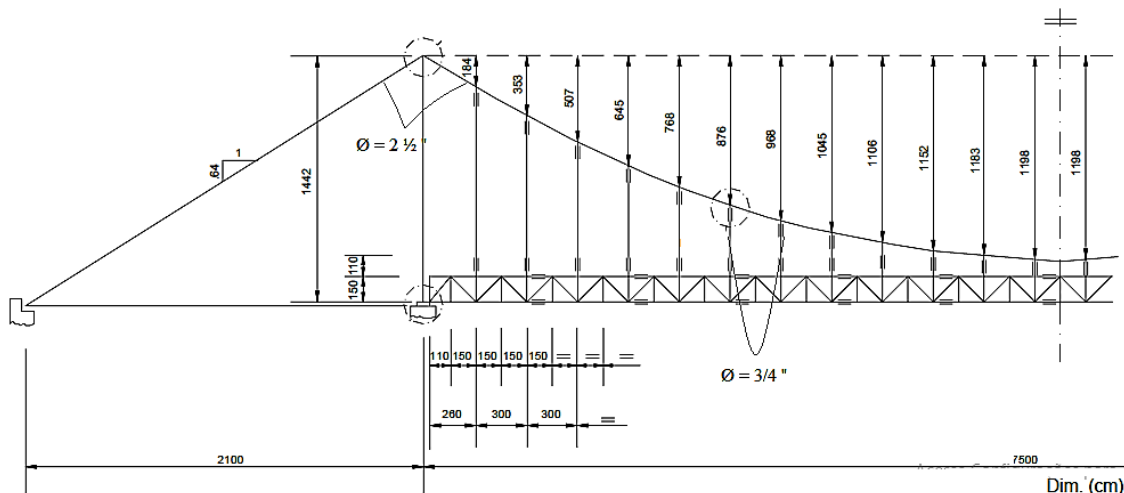


Figura 4: Esquema geral da passarela [10]

Os banzos e transversinas são treliçados, com peças retangulares compostas de madeira da espécie *Eucalyptus Citriodora*, com largura igual a 6 cm e altura igual a 16 cm. As tábuas do tabuleiro também são da espécie *Eucalyptus Citriodora* e possuem 2,5 cm de espessura e 20 cm de largura. O sistema treliçado conta ainda com contraventamentos em peças retangulares com largura igual a 8 cm e altura igual a 16 cm (Figura 2). As torres de suspensão são metálicas.

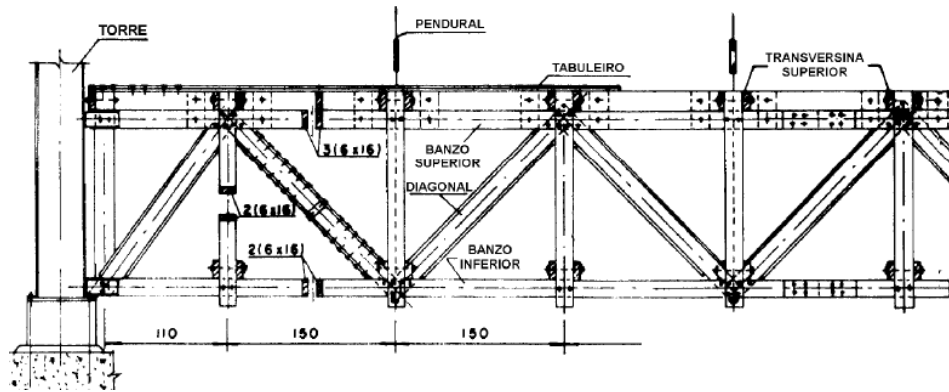


Figura 4a: Vista lateral das vigas [10]

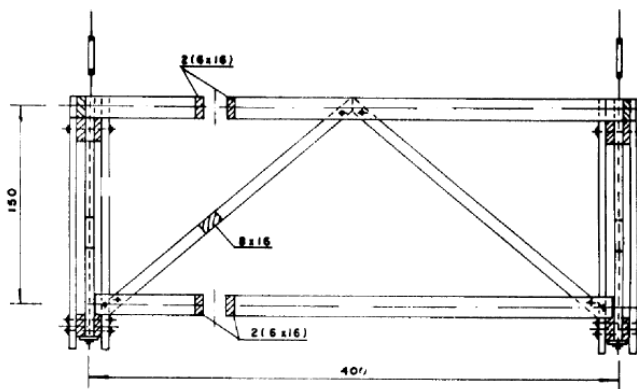


Figura 4b: Corte transversal [10]

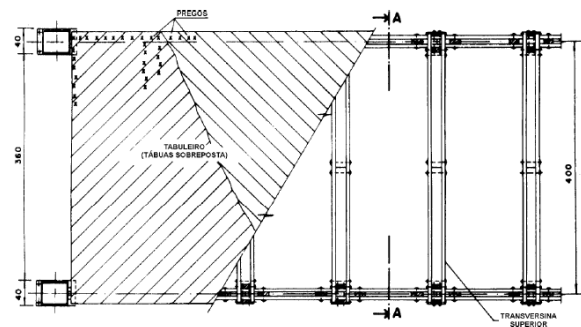


Figura 4c: Planta do tabuleiro [10]

### 3.2 Modelo em elementos finitos

Para o estudo numérico da Passarela Pênsil de Piracicaba foi criado um modelo tridimensional em elementos finitos, com o auxílio do software ANSYS 15 ®. Sabe-se que a modelagem de estruturas como esta, com diferentes materiais e muitos graus de liberdade é bastante complexa, e que, o ideal é que se possam realizar testes experimentais para que o modelo teórico seja calibrado. No entanto, isto está fora do escopo deste trabalho.

No modelo, as vigas em madeira, as torres metálicas e os cabos foram representados pelo elemento 'Beam 188' interligados rigidamente e as continuidades na estrutura foram levadas em consideração. O tabuleiro também em madeira e ligado ao longo dos banzos superiores, foi modelado por elementos 'Shell 181'. As ancoragens dos cabos principais foram simplificada e substituídas por apoios fixos e o mesmo procedimento foi adotado para representar a ligação das torres aos blocos de fundação. A Figura 5 traz parte da representação tridimensional da passarela, conforme programa ANSYS 15. As barras de corrimão e guarda-corpo foram consideradas como elementos de massa, aplicados no tabuleiro da passarela.

O modelo discretizado possui 5180 nós e 3674 elementos.

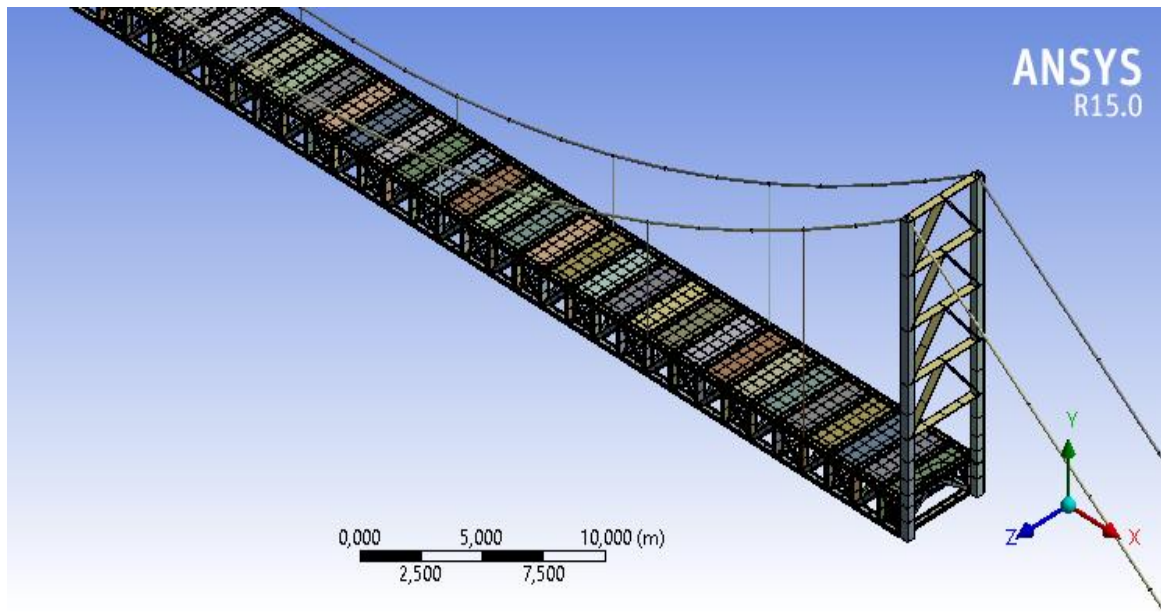


Figura 5: Modelo numérico tridimensional criado no ANSYS

Finalmente, são apresentadas, na Tabela 1, as propriedades físicas dos materiais constituintes da passarela que foram consideradas na modelagem numérica da estrutura.

Tabela 1: Propriedades físicas dos materiais [11 e 12]

Material	Peso Específico ( $\rho$ ) (Kg/m <sup>3</sup> )	Módulo de Elasticidade (E) (MPa)			Coeficiente de Poisson ( $\nu$ )		
Aço Estrutural	7860	205000			0,3		
Cabo Filler AA 6x25	7860	129400			0,3		
Aço 1020	7860	210000			0,3		
Madeira Eucalyptus Citriodora	999	E <sub>L</sub> (MPa)	E <sub>R</sub> (MPa)	E <sub>T</sub> (MPa)	V <sub>LR</sub>	V <sub>LT</sub>	V <sub>RT</sub>
		16981	1825	1358,5			
		G <sub>LR</sub>	G <sub>RT</sub>	G <sub>LT</sub>			
		861	86,1	809,34			

Os módulos de elasticidade, bem como os coeficientes de Poisson da Madeira *Eucalyptus Citriodora* usados, foram determinados experimentalmente por Ballarin e Oliveira (2003) e analiticamente pelos fatores de conversões propostos por Bodig e Jayne (1982). Os parâmetros usados para o aço *Filler* com alma de aço foram encontrados em manuais técnicos de fornecedores, tal como CIMAF [12].

### 3.2.1 Análise modal

Após a definição do modelo numérico a ser utilizado, foi realizada a análise modal para a identificação dos modos e frequências de vibração da estrutura. Essa análise foi realizada para os primeiros 120 modos e os resultados das primeiras frequências relevantes encontradas no tabuleiro estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Frequências naturais extraídas da análise modal

Modo de Vibração (n°)	Frequência Natural (Hz)	Características do Modo de Vibração
9	1,27	1° Modo Vertical
18	1,57	1° Modo Lateral
21	2,01	1° Modo de Torção
24	2,55	2° Modo Vertical
37	3,42	2° Modo de Torção
43	4,25	3° Modo de Torção
96	4,63	3° Modo Vertical
107	5,72	4° Modo de Torção
115	6,99	4° Modo Vertical

Logo abaixo, as Figuras 6 a 8 exibem graficamente os resultados obtidos para o 1° modo de vibração vertical, 1° modo de vibração horizontal e 1° modo de torção, respectivamente.

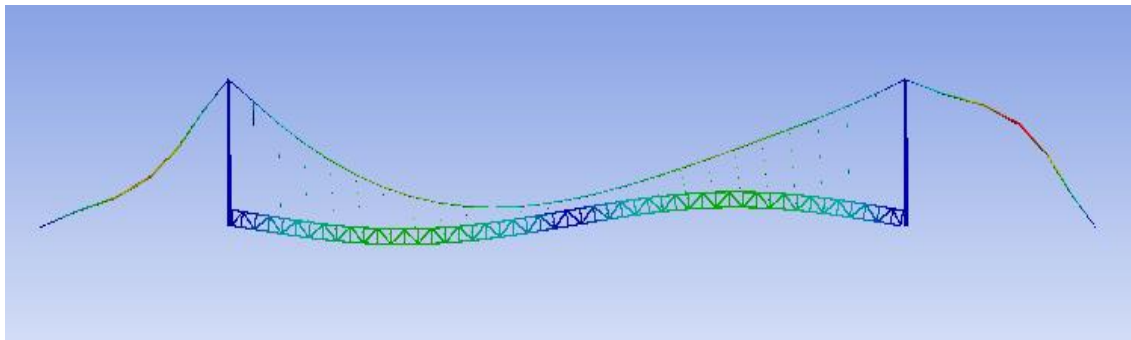


Figura 6: Primeiro modo de vibração vertical (Vista longitudinal)

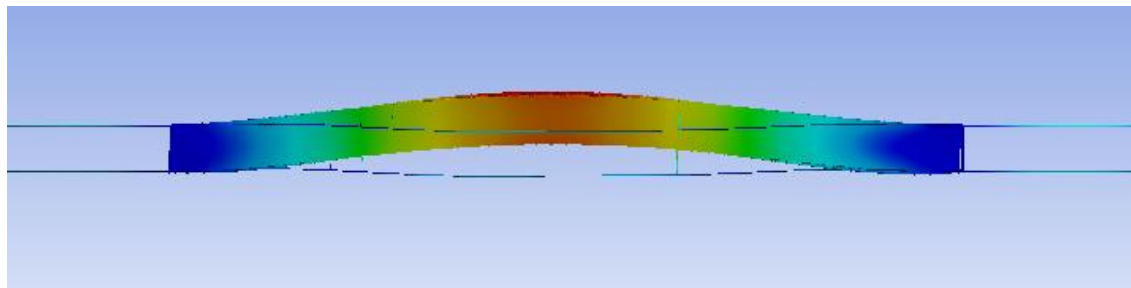


Figura 7: Primeiro modo de vibração lateral (Vista superior)

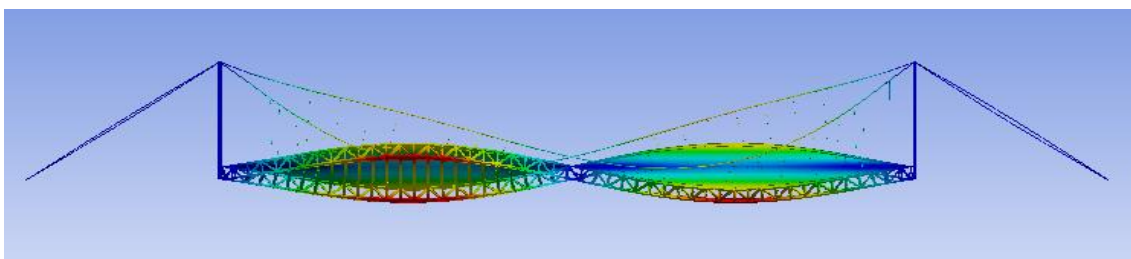


Figura 8: Primeiro modo de torção (Vista longitudinal)



### 3.2.2 Análise Transiente

As normas aqui citadas foram avaliadas em busca de parâmetros dinâmicos a serem aplicados no modelo numérico já definido, para que posteriormente fossem feitas as devidas comparações e classificação da passarela quanto ao atendimento ou não do que prescrevem tais normativos.

Para as normas que não oferecem metodologias para a representação do carregamento, apontando apenas os limites de serviço a serem obedecidos, foram levados em consideração os parâmetros prescritos pela ISO 10137 [3] e os modelos propostos são descritos a seguir:

Modelo I: Neste modelo, a força dinâmica caracteriza a atividade de caminhar na direção vertical. A frequência de excitação considerada é igual a 1,3 Hz pela proximidade do valor com a primeira frequência de flexão vertical encontrada na passarela, de maneira a obter o pior cenário. Ressalta-se que tal frequência se enquadra nos valores representativos da atividade de caminhar, conforme prescrevem alguns autores. A carga é aplicada ao longo do vão, variando espacial e temporalmente, conforme se idealiza a caminhada de um pedestre. O modelo é aplicado em uma primeira análise simulando o caminhar de 1 pedestre trafegando sobre todo o vão. Posteriormente é analisada a condição de 10 pedestres sobre a estrutura. Tendo em vista que o efeito de várias pessoas caminhando é maior quando estas se encontram em fase, optou-se por considerar que estes estariam se locomovendo enfileirados, defasados de dois períodos. Por fim, uma última situação é prevista aumentando o número de pedestres. Deste modo foi estudado ainda o caso de 30 pedestres se locomovendo, estes estariam em trio, formando três filas com 10 pedestres em cada, defasados de dois períodos tal como o caso anterior. A Figura 9 exemplifica o carregamento de dois passos consecutivos dado por 1 pedestre com velocidade igual 0,9 m/s, proposto conforme o Modelo I.

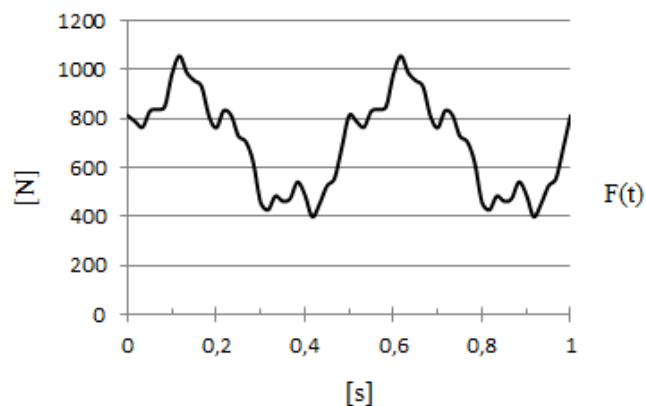


Figura 9: Carregamento vertical para frequência 1,3 Hz

Modelo II: A força dinâmica caracteriza a atividade de correr na direção vertical. A frequência de excitação considerada é igual a 2,55 Hz. Tal frequência escolhida para a simulação leva em conta o valor da segunda frequência de flexão vertical da estrutura e se enquadra nos valores propostos por pesquisadores ao descrever a atividade de corrida. Ainda no mesmo raciocínio, a carga é aplicada ao longo do vão, variando espacial e temporalmente e em ressonância. O modelo é aplicado em uma primeira análise simulando o caminhar de 1 pedestre trafegando sobre todo o vão. Posteriormente é analisada a condição de 10 pedestres sobre a estrutura. Tendo em vista que o efeito de várias pessoas caminhando é maior quando estas se encontram em fase, optou-se por considerar que estes estariam se locomovendo enfileirados, defasados de 1 período. Por fim, uma última situação é prevista aumentando o número de pedestres. Deste modo foi estudado ainda o caso de 30 pedestres se locomovendo, estes estariam em trio, formando três filas com 10 pedestres em cada, defasados tal como na condição anterior.

Modelo III: A força dinâmica caracteriza a atividade de caminhar na direção horizontal. A frequência de excitação considerada é igual a 1,25 Hz, metade da frequência de passo considerada para a atividade de caminhada. As mesmas observações das análises do Modelo I referentes ao número de pedestres sobre a estrutura e como estes caminham, são mantidas.

As acelerações encontradas em diferentes situações de carregamentos, bem como os limites de serviço prescritos em diferentes normas, são descritos nas Figuras 10 e 11.

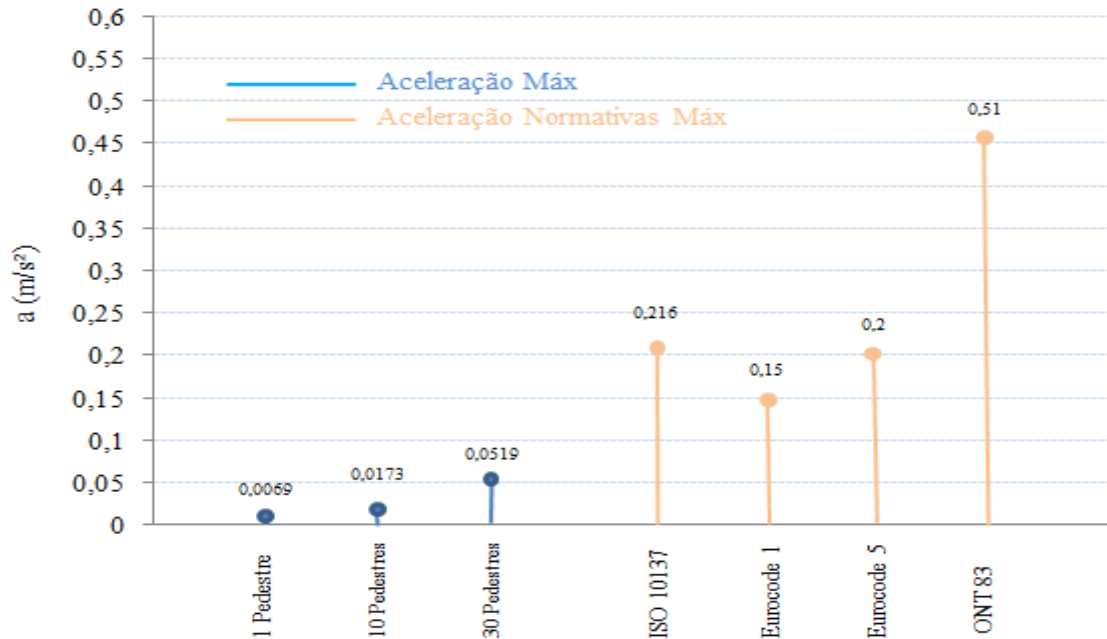


Figura 10: Comparação entre as acelerações máximas encontradas e as prescrições normativas – direção horizontal (1,25 Hz)

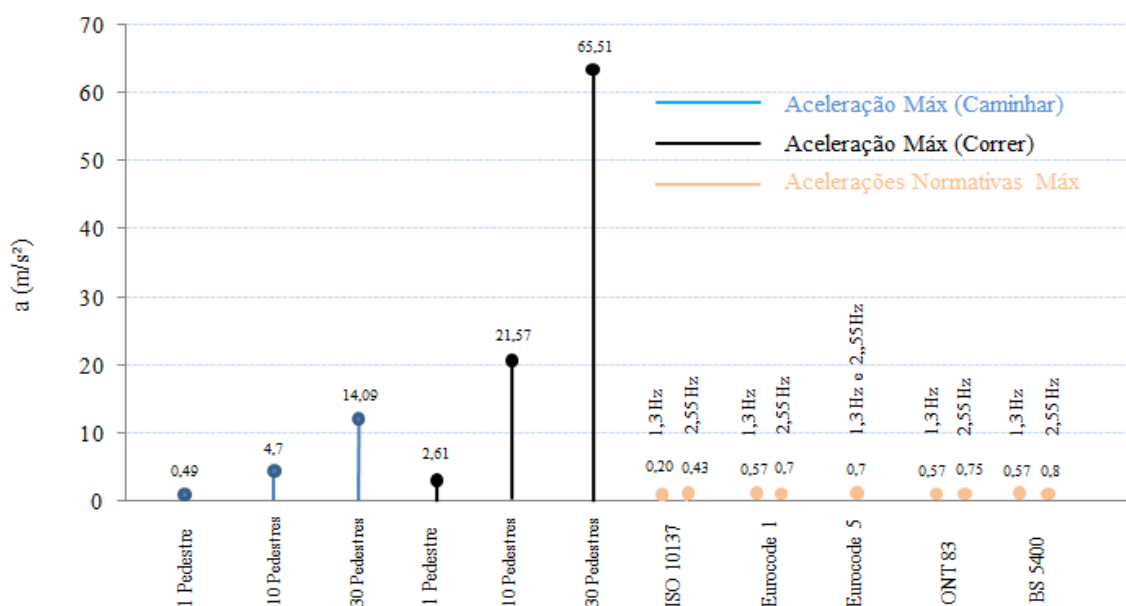


Figura 11: Comparação entre as acelerações máximas encontradas e as prescrições normativas – direção vertical (1,3 Hz e 2,55 Hz)

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos mostram que a passarela estudada neste trabalho pode apresentar problemas de vibrações excessivas, uma vez que as frequências naturais da estrutura na direção vertical se mostram abaixo dos limites estabelecidos em diferentes normas. Em relação às frequências naturais na direção horizontal, a estrutura apresenta bom comportamento, quando consideradas as prescrições do Eurocode 1 [5] e AASHTO 2009 [7]. Para as demais normas avaliadas, as vibrações nesta direção podem vir a ser um problema, bem como na direção vertical.

Baseado na análise transiente numérica verifica-se que existe a possibilidade de desconforto aos usuários, em razão das acelerações verticais estarem acima dos valores propostos nas normas analisadas neste trabalho, considerando cenários com um pedestre caminhando ou correndo sobre a estrutura, bem como, cenários com fluxo de pessoas. Ressalta-se que, para um único pedestre fazendo uso da passarela, apenas a ISO 10137 [3] classifica a estrutura como insatisfatória. Em relação às acelerações na direção horizontal, a estrutura exibe bom comportamento, não apresentando valores capazes de indicar a possibilidade de desconforto aos usuários.

#### AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pelo apoio concedido a esta pesquisa na forma de bolsa (mestrado).

#### REFERÊNCIAS

- [1] Varela. W.D, Battista. R.C. Control of vibrations induced by people walking on large span composite floor decks. 'Elsevier Journal Engineering Structures', (2011).
- [2] Ingolfsson.E.T. Pedestrian Induced lateral vibrations of footbridges: A literature review. 'Elsevier Journal Engineering Structures', (2012).
- [3] ABNT NBR 7188. Carga móvel rodoviária e de pedestres em Pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas. (2013)
- [4] ISO 10137. Bases for design of structures – serviceability of buildings and walkways against vibrations. 'International Organization for Standardization', (2007).
- [5] EUROCODE 1. Actions on structures – Par 2: Traffic loads on bridges. 'European Standard', (2003).
- [6] EUROCODE 5. Design of timber structures, Part 1-2: Bridges. 'European Standard' (2004).
- [7] AASHTO. LRFD. Guide specification for the design of pedestrian bridges. 'Association of state highway and transportation officials', (2009)
- [8] ONT83, 'Ontario highway bridge design code', (1991).
- [9] BS5400-2 – Steel, concrete and composite bridges – Part 2: Specification for loads, Annex B (normative) Vibration serviceability requirements for foot and cycle track bridges. 'UK British Standards Association', (2006).
- [10] Dias, A.A., Júnior, C.C., e Lahr, F., 'Revista Madeira', (2001).
- [11] Bilesky, L. e Conti, C., 'Simulação numérica do ensaio de resistência ao cisalhamento poposto pela NBR 7190 (1997) para a madeira Eucalyptus citriodora'
- [12] Cimaf, 'Manual Técnico de cabos' (2009).
- [13] Bachmann, H e Ammann, W. Vibrations in structures induced by man and machines: structural engineering document 3E. (1987).