



## IDENTIFICAÇÃO DE DANOS EM VIGAS UTILIZANDO TRANSFORMADA DISCRETA DE WAVELET

### **Juliana Cardoso Santos**

julianasaaantos@gmail.com

Estudante Graduação de Engenharia Civil, Universidade Paulista.

SGAS Quadra 913 Conj. B - SHCS, Brasília - DF, CEP 70390-130, Brasília, DF, Brasil.

### **Erwin Ulises Lopez Palechor**

erwin@aluno.unb.br

Estudante Doutorado Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília.

Campus Universitário Darcy Ribeiro, Prédio SG-12, CEP 70910-900, Brasília, DF, Brasil.

### **Luciano Lins Vieira**

lucianovieira.lv@outlook.com

Estudante Graduação de Engenharia Civil, Universidade Paulista.

SGAS Quadra 913 Conj. B - SHCS, Brasília - DF, CEP 70390-130, Brasília, DF, Brasil.

**Resumo.** *Há uma extensa quantidade de ensaios não destrutivos que visam a identificação de danos em estruturas. Ocorre que, a utilização destes têm sido restrita, em virtude de sua onerosidade, sob o prisma da necessidade da aplicação em toda extensão. Os métodos tradicionais de identificação de danos em vigas comparam parâmetros estruturais, antes e após o surgimento de um dano. Métodos que podem detectar o dano, somente com informações obtidas da condição danificada da estrutura, seriam mais apropriados, já que a condição antes do dano é raramente conhecida ou conservada como um dado estrutural. O presente artigo tem por objetivo principal a identificação de danos em uma viga metálica, perfil I, aplicando a Transformada Discreta de Wavelet nos modos de vibração da estrutura danificada obtidos com o auxílio do programam ANSYS.*

**Palavras-chave:** *Vigas, Danos, Transformada discreta de wavelet.*

## 1. INTRODUÇÃO

O homem, durante o decorrer do tempo, aliando as leis da física com a engenharia moderna, tem realizado estudos que possibilitam a construção das diversas estruturas, com alto refino, colocando a esmo e desafiando limites. Ocorre, todavia, que as adversidades, anormalidades e patologias temporais vêm desafiando, e colocando em xeque, a durabilidade e resistência das estruturas, o que nos obriga ou até mesmo compele os estudos de danos, com a finalidade de encontrar maior durabilidade e satisfação nas obras de forma ampliada.

Procedimentos a fim de identificar danos é indispensável para a garantia de segurança e prolongar a vida útil das estruturas. Os devidos cuidados iniciais contribuem para a redução dos custos de manutenção, além de aumentar a confiabilidade.

Existem danos nas estruturas que não podem ser detectados por uma simples inspeção visual, por este motivo a detecção, localização e quantificação dos danos utilizando a resposta estática da estrutura é um dos tópicos mais importantes na investigação de danos. Este conceito de identificação de danos foi introduzido há duas décadas (Hongman et al., 2008 e Choi, 2002).

Para detectar o dano usando métodos modais, muitas vezes é necessária uma análise dinâmica completa e é geralmente realizada por uma análise utilizando o método dos elementos finitos para localizar e quantificar este dano. Este procedimento tem várias dificuldades: Primeiro, nem sempre é possível ou conveniente medir a resposta de vibração da estrutura antes do dano. Segundo, muitas vezes não é viável conduzir uma detalhada análise dinâmica de toda a estrutura. Terceiro, às vezes é difícil obter com precisão as propriedades dos materiais para uma análise dinâmica mais precisa. Além disso, não é fácil extrair informação local causada por um dano pequeno a partir de parâmetros modais que caracterizam o comportamento global da estrutura (Wang e Deng, 1999).

Este artigo tem por objetivo principal a identificação de danos utilizando a análise da Transformada Discreta de Wavelet, a partir da resposta danificada de uma viga, metálica perfil I, biapoiada com diferentes posições e extensões de dano.

## 2. TRANSFORMADA DE WAVELET

A transformada de wavelet é a expansão de um sinal em uma série de pequenas ondas (wavelets). O termo wavelet é usado para descrever uma função localizada no espaço. Por “localizada” entende-se que a wavelet tem suporte compacto (ou quase compacto, o importante é que sua energia esteja concentrada em uma pequena região). Estas características resumem a capacidade de tal expansão em representar aspectos oscilatórios de curta duração presentes em um sinal, ver Figura 3.4 (Loureiro, 2004).

As funções wavelet possuem diferentes propriedades que lhes permitem ser mais apropriadas para determinados fins. Segundo Estrada (2008), as propriedades mais relevantes que uma função wavelet precisa para um processo de detecção de danos são:

- Ortogonalidade e biortogonalidade: estas propriedades garantem o cálculo rápido dos coeficientes de wavelet. Infelizmente, nem todas as funções de wavelet possuem estas duas propriedades;

- Suporte compacto: esta propriedade significa que a função wavelet não assume o valor zero para intervalos finitos. Esta propriedade permite representar de forma mais eficiente os sinais que têm características localizadas;
- Momentos nulos: esta propriedade determina o grau do polinômio que podem ser aproximados. Esta propriedade é usada para selecionar a wavelet-mãe mais adequada para a detecção de danos;
- Regularidade: é o número de vezes que uma função é diferenciável no ponto  $x_0$ . Singularidades em uma função podem ser detectadas por essa regularidade.

## 2.1 Transformada Discreta de Wavelet (TDW)

Wavelets ( $\psi$ ) com parâmetros inteiros são, geralmente, usadas nas transformadas de wavelet, por exemplo, podem ser geradas de uma wavelet-mãe usando valores escalonados de  $a$  e transladados de  $b$  baseados na potência de 2. Este procedimento reduz o esforço computacional nos cálculos dos coeficientes de wavelet. A escala  $a$  é definida como  $a = 2^j$  e a translação  $b = k2^j$  com  $(j,k) \in \mathbb{Z}$ . Este processo é chamado de Transformada Discreta de Wavelet (TDW) e as wavelets  $\Psi$  são obtidas pela Equação 3.1.

$$\Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{2^{j/2}} \Psi(2^j t - k) \quad (1)$$

Onde  $j$  e  $k$  são os índices de escala e translação (posição) respectivamente. Os coeficientes discretos de wavelet são dados por:

$$C_{j,k} = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (2)$$

Estes coeficientes são capazes de identificar descontinuidades presentes em um sinal por meio de picos com grande amplitude. Tais descontinuidades são provocadas pela presença de um dano na estrutura.

## 3. ANÁLISE NUMÉRICA

As análises numéricas foram realizadas com o auxílio do programa ANSYS 11.0 utilizando o elemento SHELL63 para modelar as vigas metálicas, na condição biapoiada. O elemento SHELL63 possui quatro nós, cada um dos quais tem seis graus de liberdade (Figura 1). Os eixos de coordenadas X e Y do elemento são definidos no mesmo plano do elemento.

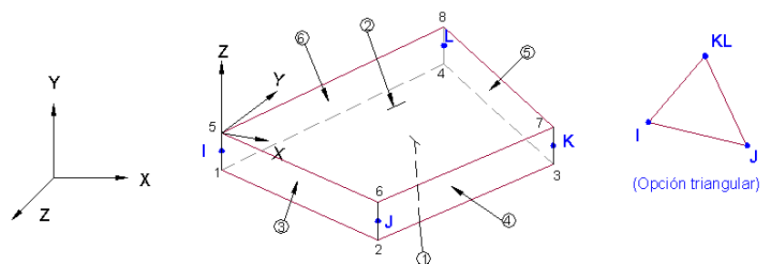
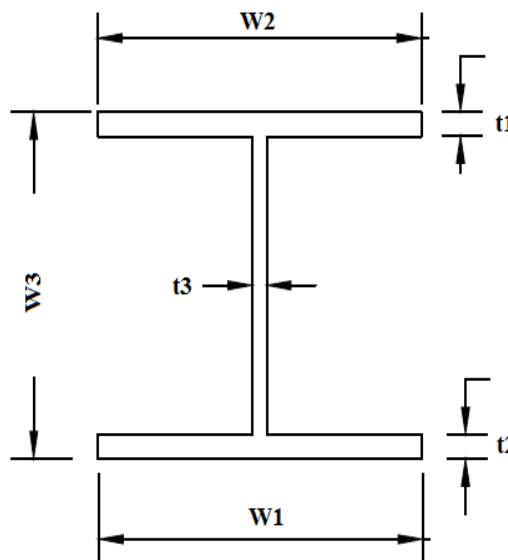


Figura 1. Elemento SHELL63 do ANSYS.

A Tabela 1 apresenta as propriedades geométricas e dos materiais que constituem as vigas analisadas.

Tabela 1. Dados do perfil de aço.

Dados do perfil de aço	
Módulo de Elasticidade	$2,00 \times 10^{11}$ Pa
Coefficiente de Poisson	0,30
A	$1,45 \times 10^{-3}$ m <sup>2</sup>
I <sub>x</sub>	$2,487 \times 10^{-6}$ m <sup>4</sup>
I <sub>y</sub>	$3,818 \times 10^{-6}$ m <sup>4</sup>
Comprimento	6,00 m
Densidade	7800 kg/m <sup>3</sup>
W1, W2	0.0676 m
W3	0.1016 m
t1, t2	0.0074 m
t3	0.00483 m



As características e os resultados obtidos na identificação dos danos serão apresentados posteriormente.

### 3.1 Descrição dos danos induzidos

A adoção de trincas verticais abertas causadas por fadiga como danos induzidos se deu em virtude de ser, de forma recorrente, identificadas em diversas estruturas similares, ver Figura 2.

Tais danos foram simulados, numericamente, eliminando elementos da malha em elementos finitos, conforme se depreende na mencionada Figura.

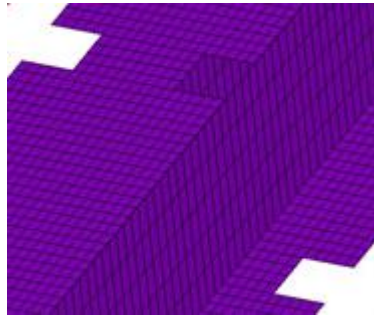


Figura 2. Dano simulado numericamente.

Foram definidos dois casos de danos a serem simulados. As Figuras 3 e 4 apresentam as descrições de cada caso destacando a posição do dano, uma representação esquemática em 3D e a seção transversal na posição danificada, indicando as dimensões do dano.

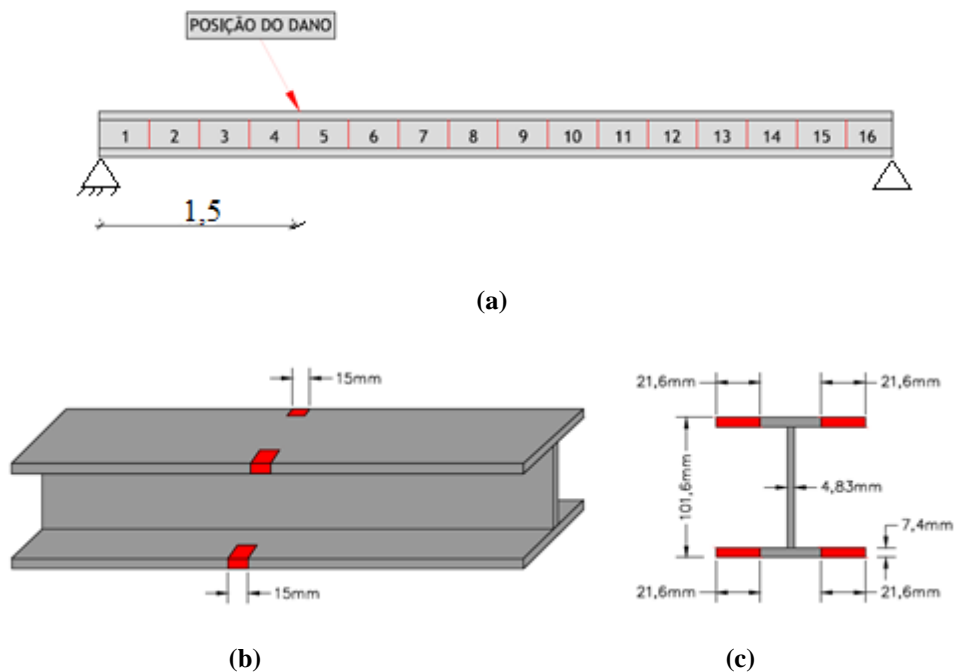


Figura 3. Viga danificada VD1: a) posição do dano a 1,50m do apoio esquerdo; (b) representação esquemática em 3D e c) seção transversal na posição danificada.

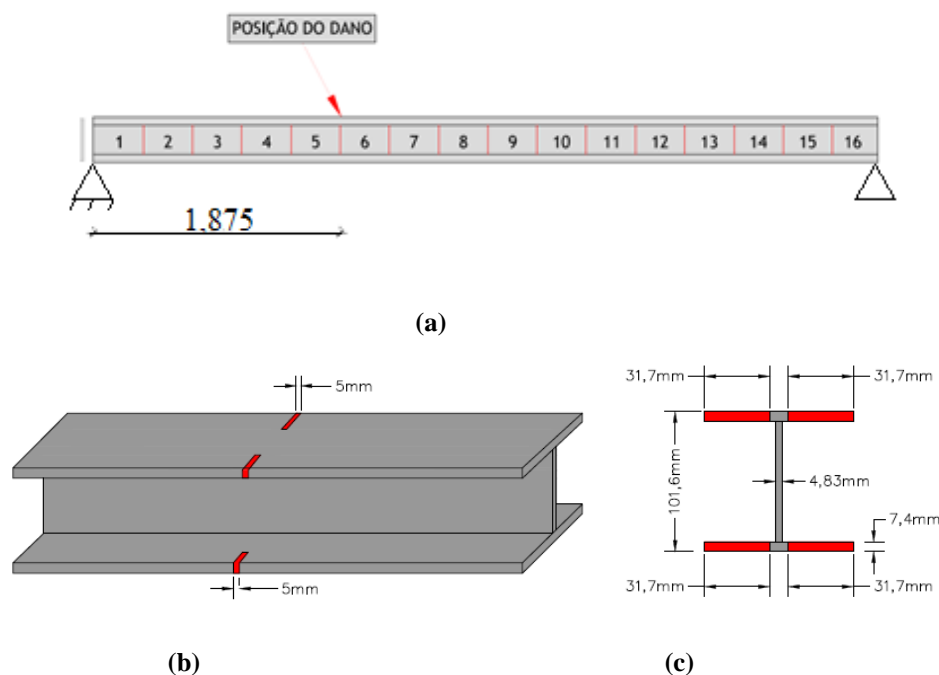


Figura 4. Viga danificada VD2: a) posição do dano a 1,50m do apoio esquerdo; b) representação esquemática em 3D e c) seção transversal na posição danificada.

Na Tabela 2, apresenta-se as propriedades geométricas da seção intacta e danificada indicando a devida redução das mesmas decorrida pela indução do dano.

Tabela 2. Propriedades geométricas das seções intacta e danificadas.

Viga	Área (cm <sup>2</sup> )	Momento Inércia (cm <sup>4</sup> )
Intacta	14,20	248,73
VD1	7,80	106,60
VD2	4,81	40,14

### 3.2 Resultados

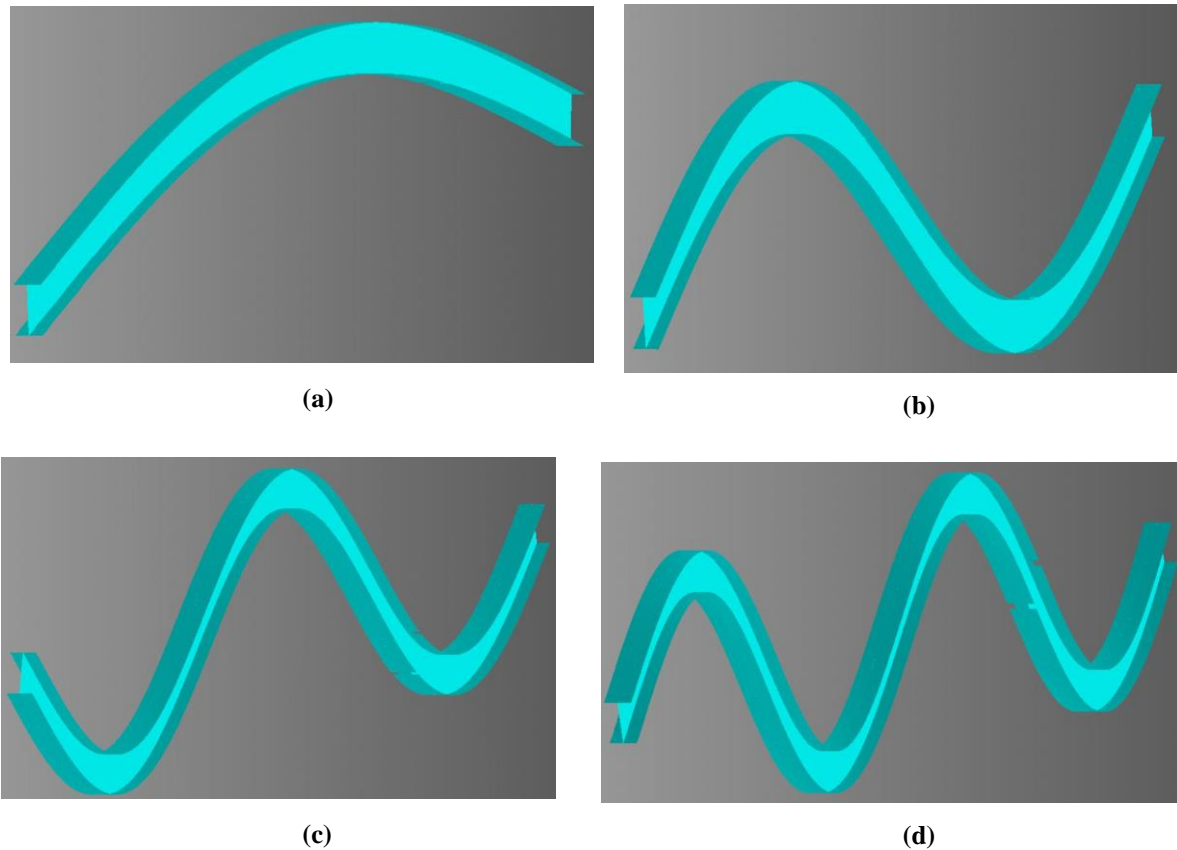
A Tabela 3 apresenta os valores das frequências naturais dos quatro primeiros modos de vibração das vigas intactas e danificadas obtidas no ANSYS.

Tabela 3. Frequências naturais (Hz).

	Intacta	VD1	VD2
1	10,18	10,12	9,81
2	40,37	39,98	38,83
3	89,52	88,97	85,36
4	154,75	154,35	149,77

Observa-se que os valores das frequências naturais diminuíram com a presença do dano nos quatro modos de vibração encontrados, conforme esperado.

A Figura 5 apresenta os quatro primeiros modos de vibração da viga VD1 obtida no ANSYS.



**Figura 5. Quatro primeiros modos de vibração da viga VD1: (a) primeiro modo; (b) segundo modo; (c) terceiro modo; (d) quarto modo.**

As Figuras 6-9 apresentam os resultados da aplicação das Transformadas Discretas de Wavelet para o primeiro e segundo modo das vigas VD1 e VD2 usando as wavelet Bior 6.8 e Sym6. A escolha destas duas funções wavelet se deu ao fato das mesmas terem apresentado melhores resultados e maior grau de precisão na localização do dano dentre 44 funções testadas por Palechor, 2013.

### Primeiro modo de vibração- VD1

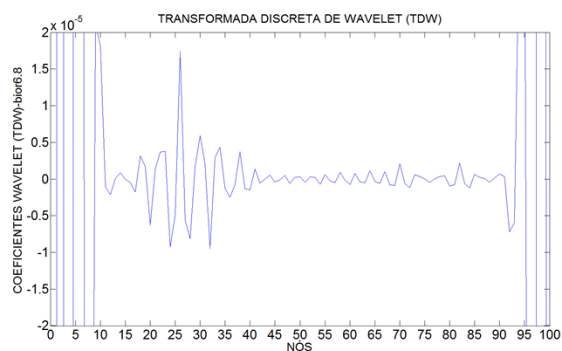


Figura 6. TDW Modo 1 para a viga VD1 usando Bior6.8.

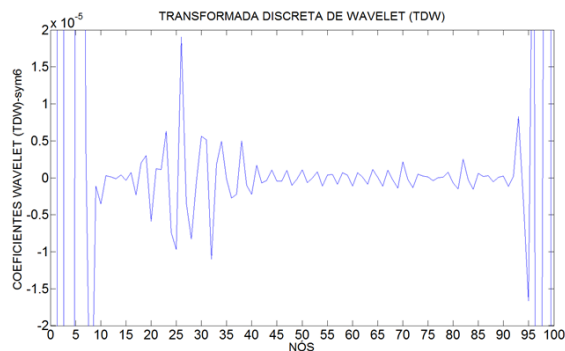


Figura 7. TDW Modo 1 para a viga VD1 usando Sym6.

### Segundo modo de vibração- VD1

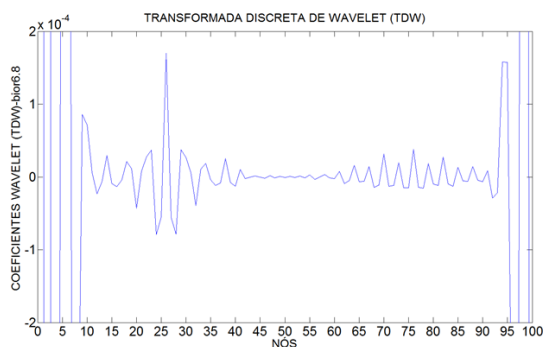


Figura 8. TDW Modo 2 para a viga VD1 usando Bior6.8.

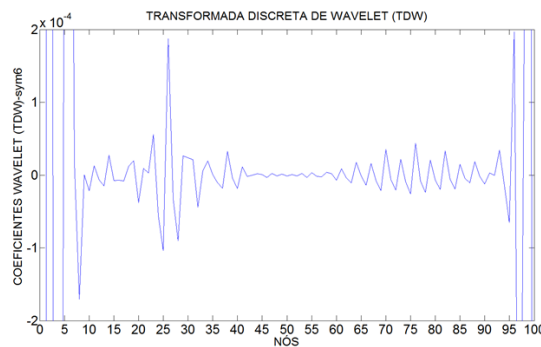


Figura 9. TDW Modo 2 para a viga VD1 usando Sym6.

As Figuras 10-13 apresentam os resultados da aplicação das Transformadas Discretas de Wavelet para o primeiro e segundo modo da viga VD2.

### Primeiro modo de vibração- VD2

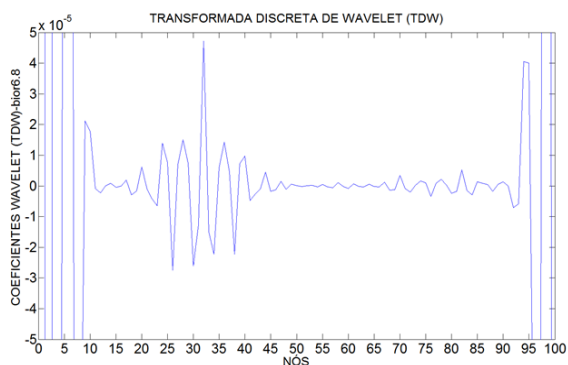


Figura 10. TDW Modo 1 para a viga VD2 usando Bior6.8.

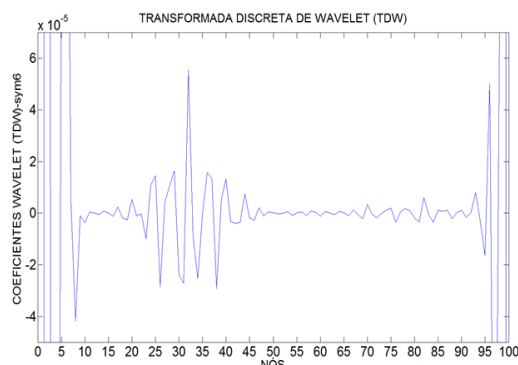


Figura 11. TDW Modo 1 para a viga VD2 usando Sym6.



## Segundo modo de vibração- VD2

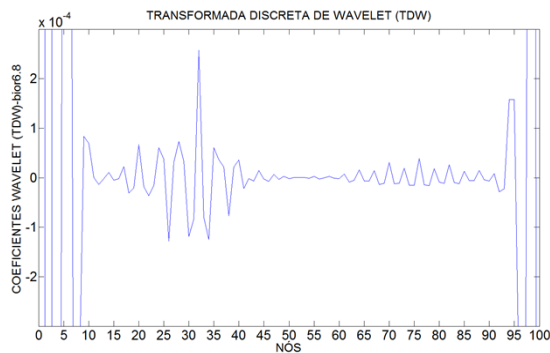


Figura 12. TDW Modo 2 para a viga VD2 usando Bior6.8.

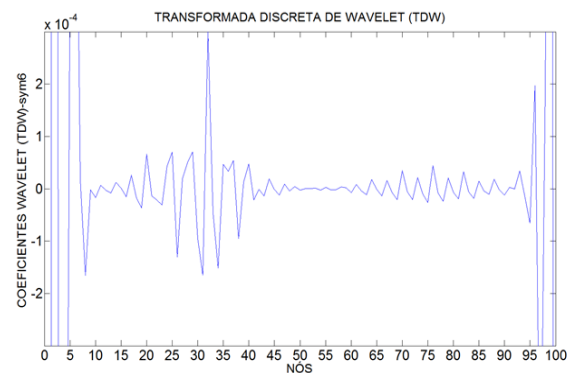


Figura 13. TDW Modo 2 para a viga VD2 usando Sym7.

Para todos os casos analisados, as Transformadas Discretas de Wavelet foram capazes de identificar a posição do dano com precisão por meio dos elevados valores dos coeficientes de wavelet na região danificada.

## 4. CONCLUSÕES

O escopo do presente artigo foi trazer à discussão a aplicação de um método, ante os tradicionalmente utilizados, a Transformada Discreta de Wavelet. Nesse aspecto, o presente método necessita apenas da resposta da estrutura danificada, enquanto os métodos tradicionais exigem uma comparação entre os parâmetros estruturais da estrutura intacta e danificada.

As respostas dos coeficientes Wavelet para a TDW, utilizando a Wavelet-mãe: bior6.8 e sym7, apresentaram satisfatoriedade no processo de identificação do dano, objetivado na análise numérica. Os gráficos, ainda, circundam a sensibilidade às descontinuidades geométricas na região dos apoios. Tal comportamento já fora observado por diversos (Estrada, 2008; Ovanesova e Suarez, 2004; Palechor et. al, 2014, Sun e Chang, 2004).

Por fim, ressalta-se que as estruturas carecem de constante manutenção e monitoramento, visando garantir a integridade estrutural e eficácia durante toda sua vida útil. Tal monitoramento pode ser auxiliado por meio da aplicação das Transformadas Discretas de Wavelet nos modos de vibração obtidos numericamente a partir de um modelo devidamente calibrado.

## REFERÊNCIAS

- Choi. Il. Y., 2002. *Damage Identification Techniques for Bridges Using Static Response*. PhD thesis, University of Hanyang.
- Estrada, E. S., 2008: *Damage detection methods in bridges trough vibration monitoring: evaluation and application*. Doctoral Thesis, University of Minho.
- Loureiro, P. L. M., 2004: *Modelagem acústica no domínio da transformada wavelet*. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ, 74p.

Ovanesova, A. V. Suárez L. E.: *Applications of wavelet transforms to damage detection in frame structures*. J. Struct. Eng., Vol. 26, 2004, pp.39-49.

Palechor, E. U. L. Identificação de danos em vigas metálicas utilizando wavelets e dados numéricos e experimentais. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil, Universidade de Brasília, 2013.

Palechor, E. L., Silva, R. S. Y. C., Bezerra, L. M., Bittencourt, T. N.: *Damage Identification in Beams Using Experimental Data*. Key Engineering Materials, Vol. 5, 2014, pp. 21-29.

Sun Z, Chang CC.(2004). Statistical wavelet-based method for structural health monitoring. J Struct Eng 2004;103(7):1055–62.

Wang, Q., Deng, X.M., Damage detection with spatial wavelets. *International Journal of Solids and Structures* 36, 3443–3468, 1999.