

# TRANSFORMADA WAVELET E DE FOURIER APLICADA À ANÁLISE DE SINAIS RUIDOSOS

Reynerth Pereira da Costa<sup>1</sup>; José Luiz da Silva de Souza<sup>1</sup>; Francisco Otávio Miranda<sup>1</sup>

*Universidade do Estado do Amazonas – Centro de Estudos Superiores de Parintins*  
[preynerth@gmail.com](mailto:preynerth@gmail.com); [jlfisicanatural@gmail.com](mailto:jlfisicanatural@gmail.com); [ffarias@uea.edu.br](mailto:ffarias@uea.edu.br)

## 1. Introdução

Uma questão de grande relevância em análise de sinais em diversos campos das ciências e engenharia é aquela que envolve medidas de sinais ruidosos. Ruídos de alta frequência, por exemplo, podem ofuscar análises importantes associadas a sinais reais, tais como séries temporais (Farias, 2017). Um caso particularmente interessante associado à análise de sinais ruidosos (Salvi et al., 2016) é o caso das séries temporais turbulentas, associadas a campos de velocidade do vento ou temperatura medidas em um sistema Euleriano. Estas séries temporais podem estar sujeitas a variações bruscas nos sinais que surgem em decorrência de fenômenos extremos que ocorrem próximas ao local onde as medições são realizadas (Farias, 2017).

O objetivo aqui é demonstrar as distorções causadas pelos ruídos de alta frequência em sinais sintéticos e posteriormente compará-los a uma série real, demonstrando as dificuldades impostas por ruídos dessa natureza na análise de sinais.

## 2. Metodologia,

### 2.1. Transformada de Fourier

Para a construção dos sinais foram utilizadas as proposições de Fourier (Gasquet e Witomski, 1990), que no século XIX propôs que qualquer função periódica  $f(x)$  pode ser expressa pela somatória de uma função ou representação de uma série de senos e cossenos tal como:

$$f(x) = \frac{A_0}{2} + \sum_{i=1}^{\infty} [A_n \cos(nx) + B_n \text{sen}(nx)] \quad 1$$

Portanto, representações em séries de Fourier, de funções ou de dados, como superposição das funções senos e cossenos têm sido muito úteis para soluções analítica e numérica para análises e tratamento de sinais. Este método foi aplicado neste trabalho para a construção dos sinais aqui analisados.

### 2.2. Transformada Wavelet

Os escalogramas de energia utilizados nas análises dos sinais ruidosos de alta frequência foram construídos a partir da Transformada Wavelet (TW). De acordo com Lau e Weng (1995) a WT decompõe um dado sinal  $s(t)$  em termos de certas funções elementares  $\psi_{\beta,\alpha}(t)$  derivadas de uma função intitulada wavelet mãe (mother wavelet)

(83) 3322.3222

[contato@conapesc.com.br](mailto:contato@conapesc.com.br)

[www.conapesc.com.br](http://www.conapesc.com.br)

por meio de translações  $\beta$  e dilatações  $\alpha$ , as quais são quadraticamente integráveis no intervalo em questão (Daubechies, 1992; Farge, 1992):

$$\psi_{\beta,\alpha}(t) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \psi\left(\frac{t-\beta}{\alpha}\right) \quad 2$$

$\alpha, \beta \in \mathbb{R}$ , com  $\alpha > 0$ . Segundo Farge (1992) é possível obter a fase  $\phi(\beta, \alpha)$  do sinal, num instante  $\beta$  e numa escala  $\alpha$  conforme a expressão:

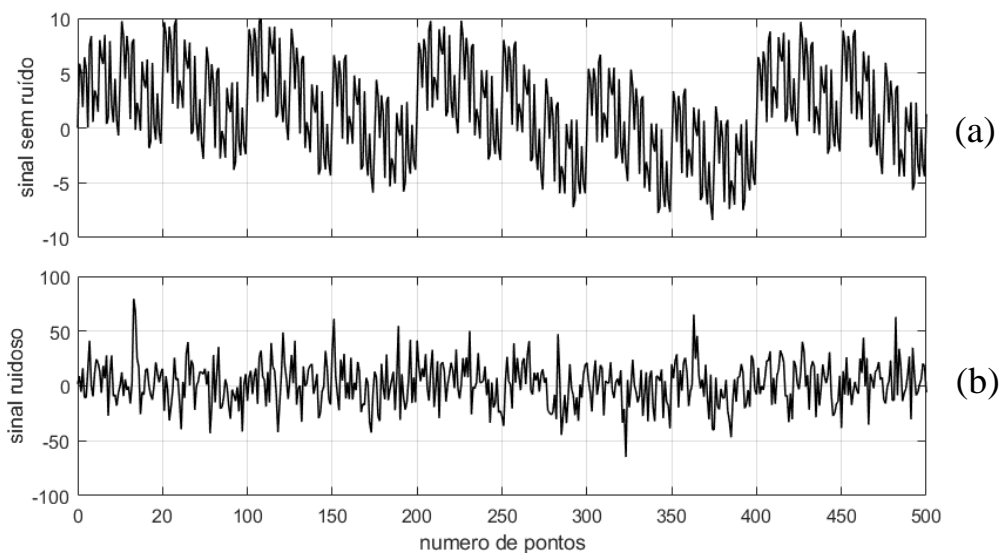
$$\phi(\beta, \alpha) = \arctg \left\{ \frac{Im[W(\beta, \alpha)]}{Re[W(\beta, \alpha)]} \right\} \quad 3$$

A escolha de wavelets apropriados é uma questão importante que depende do tipo de informação que se deseja extrair do sinal. Para esta análise de sinais será utilizada a TW complexa de Morlet (Daubechies, 1992; Farge, 1992).

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Sinais analíticos com e sem ruído

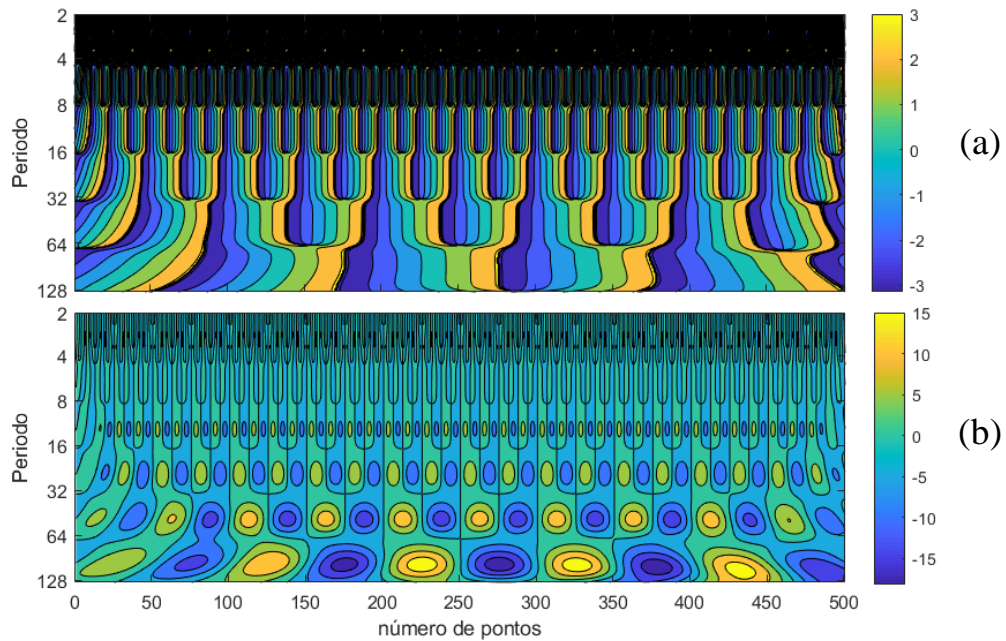
Inicialmente foram construídos sinais a partir das transformadas de Fourier. Na Figura 3.1 conta um sinal com frequência de 100 Hz e para um comprimento  $t = \left[1: \frac{1}{F_s}: 5\right] = 500$  pontos (Figura 3.1a). Posteriormente adicionou-se a este um ruído de alta frequência resultando no sinal da Figura 3.1(b).



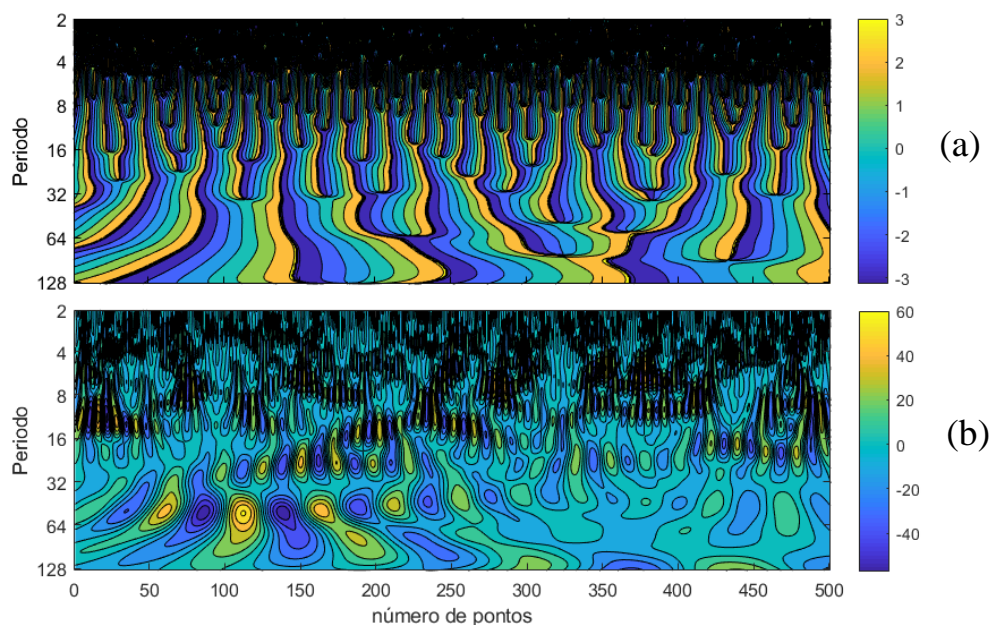
**Figura 3.1.** Sinais construídos a partir das transformadas de Fourier para (a) sinal sem ruído e (b) sinal ruidoso.

Considerando-se que os sinais da Figura 3.1 podem ser facilmente manipulados em termos de amplitudes e frequências, pôde-se então construí-los de modo a representar um diagrama de bifurcação cuja evolução pode ser prevista. Assim, ao se construir o escalograma de fase (Figura 3.2a) a

partir da Transformada wavelet, as bifurcações associadas às variações de frequência ficam evidenciadas. Do mesmo modo, os máximos e mínimos associados à parte real dos coeficientes wavelet (Figura 3.2b) apresentam tendências que fornecem fortes indícios de se tratar de dobramento de período.



**Figura 3.2.** Aplicação da Transformada Wavelet complexa de Morlet para sinais sem ruído na qual constam: (a) escalograma de fase do sinal sem ruído e (b) escalogramas de fase da parte real dos coeficientes wavelet resultantes da aplicação wavelet complexa de Morlet.



**Figura 3.3.** Aplicação da Transformada Wavelet complexa de Morlet para sinais ruidosos na qual constam: (a) escalograma de fase do sinal ruidoso e (b) escalograma de fase da parte real dos coeficientes wavelet resultantes da aplicação wavelet complexa de Morlet.

Na comparação entre as Figuras 3.2 e 3.3 é possível verificar as fortes distorções causadas pela inserção de ruído de alta frequência nos sinais. A principal destas distorções é que as bifurcações associadas à variação de frequência ficam totalmente deformadas. Além disso, a razão entre as frequências que fornecem indícios que possa haver dobramento de período associado ao sinal ficam fortemente prejudicadas. No entanto, testes mais aprofundados ainda se fazem necessários.

#### **4. Conclusões**

A conclusão preliminar mais importante é que, de fato, o ruído de alta frequência causou grandes distorções no sinal sintético e possivelmente ruídos dessa natureza vão dificultar as análises, principalmente em dados reais que são quase sempre ruidosos. O passo seguinte deste trabalho será o de comparar o maior número possível de sinais com e sem ruídos a dados reais medidos de preferência na atmosfera tropical e que estejam associados a campo de velocidade do vento e também a gradientes de temperatura.

#### **Agradecimentos**

The authors acknowledge the financial support for field studies from the U.S. Department of Energy (grant SC0011075), from Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), and from FAPESP (Process number 2013/50529-8). We acknowledge the support from the Central Office of the Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA), the Instituto Nacional de Pesquisas da Amazonia (INPA). The authors is thankful to Universidade do Estado do Amazonas for financial support [CSPROJ – 53994; 54140 e 43097].

#### **5. Referências.**

- Daubechies, I. (1992). Ten lectures on wavelets. Society for industrial and applied mathematics.
- Farge, M. (1992). Wavelet transforms and their applications to turbulence. Annual review of fluid mechanics, 24(1), 395-458.
- Farias, Francisco Otávio Miranda. Detecção de fenômenos extremos na camada limite atmosférica noturna acima da floresta Amazônica a partir da análise de sinais precursoros. 2017. 233 f. Tese(Clima e Ambiente (CLIAMB)) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus,2017.
- Gasquet, C., & Witomski, P. (1990). Chap. XII. Analyse de Fourier et Applications, Masson, 354 pp.
- Salvi, J. D., Maoiléidigh, D. Ó., & Hudspeth, A. J. (2016). Identification of bifurcations from observations of noisy biological oscillators. Biophysical Journal, 111(4), 798-812.