

APLICAÇÃO DA TRANSFORMADA DE HILBERT HUANG PARA ANÁLISE DE SINAIS TURBULENTOS

Hudson Ramos Da Silva¹
Francisco Otávio Miranda²

1. Introdução:

A natureza complexa de que trata os estudos de alguns fenômenos físicos, torna necessária a aplicação e manipulação de dados também complexos e de difícil interpretação. Como exemplo, pode-se citar um escoamento que se torna turbulento devido à interação com uma superfície rugosa. “Os escoamentos turbulentos são instáveis e contém flutuações que são dependentes do tempo e da posição no espaço. Entre as características mais importantes dos escoamentos turbulentos, destaca-se a multiplicidade de escalas que os caracterizam.” (SILVEIRA, 2002).

Em alguns casos particulares, o uso de séries temporais para representação de fenômenos turbulentos, possibilita sua análise através de técnicas computacionais, o que torna possível observar seu comportamento (como aqueles verificado por FARIAS, (2017) em seu estudo sobre a ocorrência de fenômenos extremos na atmosfera tropical acima de floresta). Uma técnica que vem sendo bastante utilizada nesse tipo de análise a partir de séries temporais é a Transformada de Hilbert Huang (THH), que “em contraste com os outros a THH constitui um método intuitivo, direto e adaptativo, com base definida a partir da decomposição e derivada do dado” (HUANG e SHEN, 2014, p.4). A transformada de Hilbert Huang vem ganhando espaço entre as técnicas de análise de sinal tradicionais como a transformadas de Wavelet e Fourier, pelo fato de poder ser aplicada em sinais não-lineares e não-estacionários. O presente trabalho irá utilizar a aplicação da THH em sinais turbulentos reais, medidos na atmosfera tropical acima de floresta. Onde através das IMF’s poderemos observar seu comportamento e para efeito de comparação será utilizada a transformada de Wavelet.

2. Dados e Metodologia

2.1 Sinais sintéticos

Para os testes preliminares foi construído um sinal a partir da sobreposição de n-sinais gerados por funções como seno e cosseno para diferentes frequências. Estes sinais serviram principalmente para ajustar os programas que foram utilizados em dados reais medidos na atmosfera tropical.

2.2 Sinais turbulentos reais

Foram utilizadas séries temporais turbulentas das componentes horizontal e vertical da velocidade do vento, amostradas à frequência de 20 Hz, medidas com anemômetros 3D (model CSAT3, Campbell Scientific Inc., Logan, UT) à altura de 48.15 metros acima do solo. As medidas utilizadas (séries temporais reais) correspondem a apenas um dia de medições.

¹Graduando do Curso de Física da Universidade do Estado do Amazonas- UEA, hudsonpimentinha@gmail.com;

²Professor orientador: Doutor, Universidade do Estado Amazonas- UEA, ffarias@uea.edu.br. (83) 3322.3222

2.3 Transformada de Hilbert Huang

A Transformada de Hilbert Huang (THH), “O THH consiste em duas partes: decomposição em modo empírico (EMD) e análise espectral de Hilbert (HSA). [...] viável para análise de dados não-lineares e não-estacionários, especialmente para representações de tempo-frequência-energia” (HUANG e SHEN, 2014, p.2). A primeira etapa é a EMD, onde são geradas através de um algoritmo de decomposição as funções de modo intrínseco (IMF). Na criação das IMFs devem ser seguidas duas condições (1) o número de extremos e o número de cruzamentos em zero devem ser iguais ou diferir apenas por uma unidade, e (2) a média local em qualquer ponto do envelope definido pelos pontos de máximo e de mínimos deve ser zero (HUANG *et al.*, 1998). A média do envelope é atribuída à m_1 e é subtraída do sinal $x(t)$, gerando h_1 . Caso h_1 apresente as propriedades de uma IMF, este proto-IMF (c_1), é subtraído do sinal original para obtermos o primeiro resíduo r_1 . Repetindo o processo de decomposição, agora tendo c_1 como novo sinal o processo é repetido para obtenção dos próximos resíduos. Este processo é repetido até que nenhuma IMF possa ser obtida do sinal residual. O último passo da THH é a Análise Espectral de Hilbert, que é feita após à THH seja aplicada em cada componente do IMF.

2.4 Transformada Wavelet

A transformada de wavelet (TW) é utilizada para análise de sinais não estacionários de modo a obter informações sobre variação de frequência e observar a forma da sua estrutura temporal ou espacial localizadas (DAUBECHIES, 1992).

2.5 Ferramenta utilizada – MATLAB 2014b®

O MATLAB é um software que é bastante utilizado em cálculos matemáticos, modelagens, simulações análises numéricas e processamentos, devido ao seu ambiente interativo, sua utilização vem sendo bastante utilizada por estudantes, cientistas e engenheiros. “Além de disponibiliza ferramentas como (os toolboxes) que formam uma coleção de programas especiais projetadas (e dedicados!) Para resolver problemas específicos.” (GILAT, 2012). como sua linguagem é adequada para análise de sinais será empregada no presente trabalho.

3. Resultados e discussão

Aqui, serão apresentados os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia proposta no item 2. A ênfase no primeiro momento será nos resultados obtidos na aplicação do método a sinais turbulentos reais.

3.1 Transformada de Hilbert-Huang (THH) aplicada a sinais turbulentos.

A THH permitiu a decomposição de um sinal turbulento em tempo e frequência quando aplicada a sinais não-estacionários e não-lineares (como foi o caso dos sinais turbulentos aqui aplicados). A vantagem observada em relação às transformadas Wavelet e Fourier é que o fato de esta fornecer “informações sobre as frequências e amplitudes instantâneas, de cada IMF, ao longo do tempo” (NEVES *et al.*, 2012). Assim, foi possível localizar uma banda de frequência na qual o fenômeno ocorre, sem a necessidade de recorrer à sobreposição de frequências após a decomposição do sinal real, como é o caso de análises a

partir da Transformada Wavelet. Isso pode ser um forte indicativo de que as IMF's são capazes de identificar mudança de comportamento no sinal, mesmo que estes ocorram em pequenos intervalos de tempo. A THH foi aplicada especificamente a um sinal que apresentar uma variação muito significativa na velocidade do vento e que ocorre por volta das 03:30 UTC, sendo possível identificar uma escala preferencial de ocorrência. O fenômeno pode ainda ser observado em menor escala em uma “cascata” de frequências, mas ainda não foi possível encontrar uma forma adequada de analisar as influências destas em diversas escalas. No entanto, é sempre possível se lançar não de procedimentos adequados, como é o caso dos espectros de potência. Para efeito de comparação os espectros de potência do sinal turbulento foram construídos a partir da THH e da transformada de Wavelet. O que se pode notar é que a THH não evidenciou a “região de produção” do espectro e se mostrou muito sensível aos efeitos de aliasing no sinal (estes efeitos de aliasing são as distorções que surgem na parte final do espectro de potência e que em um espectro turbulento corresponde à região de dissipação).

Considerações finais

Foi possível verificar algumas vantagens da aplicação da THH aos sinais turbulentos da atmosfera tropical e embora estes resultados ainda sejam resultados preliminares, considera-se que este apresenta grande potencial para diversas aplicações em dados medidos na atmosfera tropical. Um dos exemplos destas aplicações relevantes é o fato de se poder localizar a faixa de frequências em que um dado fenômeno se manifesta mais intensamente. As demais análises espectrais a partir de IMF's obtidas pela THH ainda estão em andamento e poderão ser apresentadas em breve.

palavras-chave: Transformada de Hilbert Huang, Transformada de Wavelet, Séries temporais turbulentas.

5. Referências

DAUBECHIES, Ingrid. **Ten lectures on wavelets**. Siam, 1992.

FARIAS, FRANCISCO OTÁVIO MIRANDA. **Deteção 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.

GILAT, AMOS. **MATLAB com aplicações em engenharia**. Bookman Editora, 2009.

HUANG, N. E.; Shen, S. S. P. **The Hilbert-Huang transform and its applications**, -2d, (Interdisciplinary mathematical sciences; v. 5), 2014.

HUANG, N. E, SHEN, Z, Long, S. R, M. C. Wu, M. C et al. **The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis**, in Proceedings of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, vol. 454, The Royal Society, 1998.

NEVES, C. F., de Moura, T. G. R., & Fortes, C. J. (2011). **Aplicação da Transformada de Hilbert-Huang para caracterização da dinâmica costeira. Parte 1: grandezas escalares**. Rev. Bras. Rec. Hídricos.

SILVEIRA-NETO, A., **FUNDAMENTOS DA TURBULÊNCIA NOS FLUIDOS**, em Turbulência, eds.A. P. Silva-Freire, P. P. M. Menut e J. Su, ABCM- Associação Brasileira de Ciências mecânicas. Br, 2002.