



## ANÁLISE WAVELET DO EFEITO DA MARÉ EM RIBEIRÕES

### WAVELET ANALYSIS OF TIDE EFFECT IN SMALL WATERCOURSES

ANTONIO ELISEU HOLDEFER 1; DIRCEU LUIS SEVERO 2

1 Holdefer monitoramento industrial e ambiental, Goiânia, GO- Brasil

2 Departamento de Física, Universidade Regional de Blumenau (FURB), Blumenau, SC- Brasil

**Palavras-Chave:** *Espectro de Potência fourier, Maré, Transformada Wavelet.*

**Key Words:** *Fourier Power Spectrum, Tide, Wavelet Transform.*

#### 1. INTRODUÇÃO

A análise wavelet é um grande avanço nos métodos de análise de dados dos últimos vinte anos. Ela evoluiu a partir de campos diversos, tais como processamento de sinais, física e matemática. A aplicação da transformada wavelet na análise de dados temporais, especialmente aqueles com características não estacionárias foi comprovadamente muito bem sucedida (Nason e Sachs 1999; Percival 2000). A propriedade de localizar no tempo ou espaço, bem como em escala (potência) ou frequência, fornecer mapa de tempo-escala de um sinal, permite a extração de características que podem variar no tempo. Isso faz da transformada wavelet uma ferramenta ideal para análise de sinais de natureza transiente ou não estacionária.

A literatura sobre a aplicação da transformada wavelet na área de hidrologia e engenharia de recursos hídricos é omissa e relativamente escassa. Jay e Flinchem (1995,1997, 1999) demonstraram a interação da flutuação no fluxo de rios com marés barotrópicas usando análise wavelet. Smith et al. (1998) foram capazes de caracterizar cursos de água de diferentes regiões climáticas nos Estados Unidos usando a transformada wavelet . Aplicações na área de meteorologia são também úteis quando os processos envolvidos estão intimamente ligados à hidrologia. Um excelente exemplo é o documento apresentado por Torrence e Compo (1998). Gan (2001) demonstrou a evidência de que as secas nas pradarias canadenses estão relacionadas com a circulação de correntes padrões no Oceano Pacífico utilizando uma análise wavelet. Lim e Lye (2004) demonstraram através da análise wavelet que o efeito da maré em cursos de água durante períodos de baixa vazão podem afetar de forma significativa o cálculo da curva chave. Muitos aspectos de hidrologia, de uma forma ou de outra, envolvem a análise de uma série temporal hidrológica. Assim, se houver qualquer melhoria significativa na técnica de análise de séries temporais, um impacto significativo sobre o entendimento de “processos hidrológicos” pode ser descoberto.



16, 17 e 18 de setembro de 2014  
Hotel Maksoud Plaza  
São Paulo – SP

Não é possível verificar a presença das marés quando a flutuação do nível dos rios é devida a outros processos dinâmicos, tais como os efeitos de escoamento local devido a eventos localizados de chuva. Se a presença do efeito das marés é comprovada, a série em períodos de baixa vazão pode ser suavizada usando um método de-noising robusto (suavização) cancelando o efeito da maré na série de dados em questão.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados neste estudo foram obtidos através de uma estação telemétrica de monitoramento de nível instalada no Ribeirão da Velha em Blumenau-SC, que adquire os dados de nível a cada 5 minutos, possuindo-se assim alta resolução temporal para captação do efeito da maré. A estação utiliza um sensor de pressão submerso com compensação barométrica para a realização das medições.

Para a realização da análise multirresolução a transformada wavelet faz uso de uma função base, chamada wavelet mãe. A wavelet mãe é uma onda de curto comprimento que cresce e decai em um período limitado Percival & Walden (2000). A wavelet mãe é o ponto crucial da análise wavelet, pois de acordo com a escolha da onda a ser utilizada, a transformada irá identificar ou desprezar determinadas informações durante o processo de criação do gráfico.

No presente estudo a análise de Wavelet foi aplicada utilizando-se o algoritmo elaborado por C. Torrence disponível em <http://paos.colorado.edu/research/wavelets>, na linguagem utilizada pelo Software Matlab.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apesar do Ribeirão da Velha ser um pequeno tributário que desemboca após 2.56km (ponto de medição) no rio Itajaí-Açú, e o mesmo estar a uma distância de 68.2km do mar, técnicos que frequentemente aferem o local informam que o nível do ribeirão pode ser afetado pela maré durante períodos de baixa vazão. É de fato difícil confirmar a validade do argumento baseando-se em uma verificação casual dos valores flutuantes de nível. Esse tipo de problema é bastante comum em lugares onde o efeito da maré atinge grandes distâncias continente adentro.

A análise wavelet é uma ferramenta analítica nova e poderosa, que está cada vez mais sendo usada como uma alternativa à análise de Fourier. Naturalmente se espera que o uso de tal transformada possa gerar uma melhor perspectiva de compreensão do fenômeno em análise.

Na figura 1 vemos o uso da transformada de wavelet na geração do espectro de potência wavelet para um período de coleta de dados de 168 dias obtidas no Ribeirão da Velha em Blumenau-SC. A partir de uma verificação casual do espectro de potência não é difícil perceber a ocorrência de “manchas” distintas de relativa potência em torno dos períodos de 12 e 24 horas. Uma

seta foi colocada no gráfico de forma a indicar que a ocorrência dessas “manchas” corresponde a períodos de baixa vazão do Ribeirão da Velha, o qual pode ser evidenciado no gráfico de nível.

Com isso pode-se concluir que a análise via transformada de wavelet adicionou uma dimensão à informação que tínhamos no sentido de “tempo-escala”, a qual não pode ser obtida via análise de Fourier. Agora fica claro que as flutuações de nível que ocorrem em períodos de baixa vazão tem uma periodicidade em torno de 12 e 24 horas.

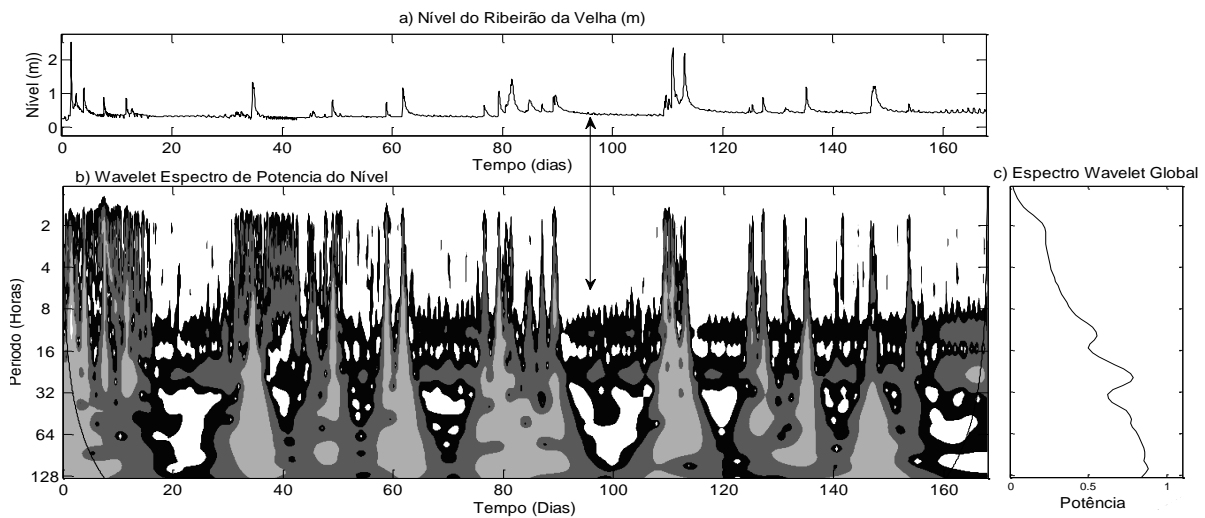


Figura 1 (a) Série temporal de nível, (b) Espectro de Potência Wavelet e (c) Espectro Wavelet global.

Os dados de nível do ribeirão da Velha foram posteriormente sujeitos a um processo de suavização “de-noising”, de maneira a extrair a componente de alta frequência (maré). O resultado se encontra mostrado na figura 2.

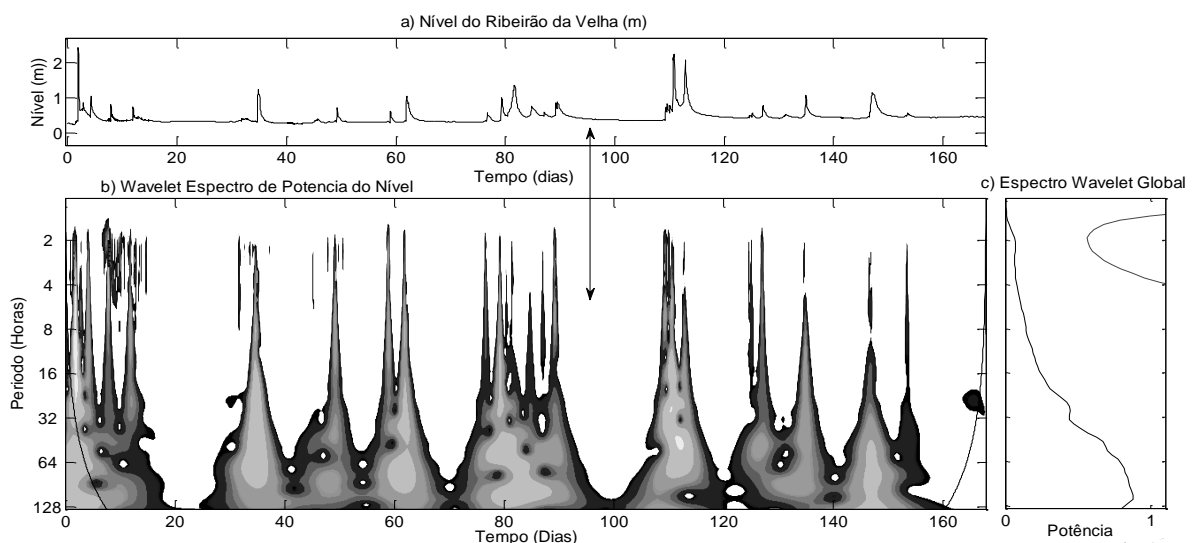


Figura 2. Idem à figura 1 para o nível do ribeirão da velha após o processo de suavização do sinal.



#### 4. CONCLUSÃO

O processo de suavização via análise de wavelets se mostrou capaz de localizar as características periódicas de marés e confirmar que as mesmas ocorrem durante períodos de baixa vazão. A tradicional análise de Fourier não fornece qualquer informação sobre o período de ocorrência de marés em períodos de baixo fluxo. Ao contrário, no uso da transformada wavelet é explicitamente mostrado no espectro wavelet o local de ocorrência das marés.

#### REFERÊNCIAS

- Gan, T. Y. (2001). Precipitation of Western Canada – Wavelet, scaling, and multifractal analysis and teleconnection to large-scale climate anomalies. Proceedings of 15th Hydrotechnical Specialty Conference. Canadian Society of Civil Engineers, Victoria, 2001.
- Jay, D. A. and Flinchem, E. P. (1997). Interaction of fluctuating river flow with a barotropic tide: A demonstration of wavelet tidal analysis methods. *Journal of Geophysical Research* 102, 5705-5720.
- Jay, D. A. and Flinchem, E. P. (1999). A comparison of methods for analysis of tidal records containing multi-scale non-tidal background energy. *Continental Shelf Research* 19, 1695-1732.
- Jay, D. A. and Flinchem, E. P. (1995). Wavelet transform analyses of non-stationary tidal currents. Proceedings of The IEEE Fifth Working Conference on Current Measurement (Edited by A. E. Williams), 101-106.
- Lim, Y. and Lye, L. (2004). Wavelet analysis of tide-affected low streamflows series. *Journal of Data Science* 2 149–163.
- Nason, G. P. and Sachs, R. V. (1999). Wavelets in time series analysis. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.* 357, 2511-2526.
- Percival, Donald B. & Andrew T. Walden (2000), *Wavelet Methods for Time Series Analysis* (Cambridge Series in Statistical and Probabilistic Mathematics), Cambridge University Press.
- Smith, L. C., Turcott, D. L. and Isacks, B. L. (1998). Stream flow characterization and feature detection using a discrete wavelet transform. *Hydrological Processes* 12, 233-249.
- Torrence, C. and Compo, G. P. (1998). A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of The American Meteorological Society* 79, 61-78.