

**Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics**

---

# Aplicação de Wavelets em Problemas Térmicos Inversos

Caroline Yura Aparecida Sakata<sup>1</sup>Juliana de Oliveira<sup>2</sup>

Departamento de Ciências Biológicas, Unesp, Assis, SP

## 1 Introdução

Problemas inversos e processamento de sinais são tecnologias importantes atualmente, com aplicações nas mais diversas áreas, como nas engenharias, processamento de imagens, comunicação, entre outras [2, 3]. Os sinais são obtidos de forma a apresentarem uma boa qualidade dos dados, porém ruídos, de várias características, são inerentes ao experimento. Portanto, em tal situação, o ruído degrada a acurácia e precisão de uma análise, e também reduz a precisão técnica instrumental [2, 3]. Desta maneira, a suavização do sinal é uma forma de obter a melhor relação entre a redução de ruído e reconstrução do sinal. Muitos métodos são usados com relação aos estudos de sinal-ruído [2, 3], dentre eles a teoria wavelets, desenvolvida na década de 80, é uma técnica muito utilizada, pois possuem propriedades consideradas adequadas para decomposição e reconstrução dos sinais [1]. Assim, este trabalho objetivou estudar, implementar e realizar testes comparativos de parâmetros da técnica wavelets como um método de regularização, com o intuito de melhorar eficiência, desempenho e minimizar a relação sinal-ruído de problemas térmicos inversos.

## 2 Problema térmico inverso e suavização por wavelets

Neste trabalho o problema térmico inverso delineado considera duas sondas inseridas numa emulsão bifásica reagente. A primeira sonda não possui encapsulamento e capta o sinal da temperatura do processo,  $T_{proc}$ . A segunda é encapsulada e obtém a temperatura indicada,  $T_{ind}$ , que fornece um sinal atrasado e atenuado. O equacionamento considerou o acúmulo térmico e convecção, e é possível obter a  $T_{proc}$  a partir da  $T_{ind}$  [3], e neste caso  $T_{proc}$  é a reconstrução da temperatura, denominada  $T_{rec}$ , e é expressa pela equação (1):

$$T_{rec} = T_{proc} = T_{ind,n} + \frac{\tau}{\Delta t}(T_{ind,n} - T_{ind,n-1}) \quad (1)$$

Devido ao mau condicionamento dos problemas inversos, pequenos erros de medida ou ruídos são amplificados, assim,  $T_{rec}$  foi submetida a uma suavização por wavelets.

---

<sup>1</sup>cysakata@hotmail.com<sup>2</sup>juliana@assis.unesp.br

A técnica wavelet consiste em: a partir de um sinal ruidoso,  $T_{rec}$ , aplicar a transformada wavelet discreta (DWT) e seus coeficientes são obtidos; depois, estes coeficientes são filtrados por um limiar e, por fim, o sinal suavizado,  $T_{reg}$ , é reconstruído pela transformada wavelet discreta inversa (IDWT) [1], Figura 1.



Figura 1: Etapas do processamento de sinal usando wavelets.

### 3 Resultados e discussão

Para a implementação da técnica wavelet foi utilizado o software Matlab<sup>®</sup>, o filtro Daubechies 4 e a formulação matricial da transformada wavelet discreta [4]. Vários testes experimentais, com diferentes níveis de ruídos embutidos no sinal, foram realizados. A técnica wavelet pôde suavizar os efeitos provocados pelo mau condicionamento intrínseco no sinal da temperatura reconstruído,  $T_{rec}$ , dando origem ao sinal da temperatura suavizado  $T_{reg}$ . A raiz quadrada do erro quadrático médio (RMSE) entre a  $T_{proc}$  e a  $T_{reg}$  ficou em níveis considerado baixo.

### 4 Conclusões

Através de experimentos numéricos, a técnica wavelet mostrou-se eficiente em suavizar sinais de problemas térmicos inversos mesmo sob influência de ruídos elevados. Assim, foi possível obter controle sobre parâmetros que a técnica exige, como, escolha de seus coeficientes e limiares.

### Referências

- [1] H. Ahmadi-Noubari, A. Pourshaghaghly, F. Kowsary e A. Hakkaki-Fard. *Wavelet application for reduction of measurement noise effects in inverse boundary heat conduction problems*, *International Journal of Numerical Methods for Heat and Fluid Flow*, 18:217-236, 2008.
- [2] M. Jakubowska. *Signal processing in electrochemistry*, *Electroanalysis*, 23:553-572, 2011.
- [3] J. Oliveira, J. N. Santos e P. Seleglim Jr. *Inverse measurement method for detecting bubbles in a fluidized bed reactor-toward the development of an intelligent temperature sensor*, *Powder Technology*, 3:123-135, 2006.
- [4] W. H. Press, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling e B. P. Flannery. *Numerical recipes: the art of scientific computing*. Cambridge University Press, Cambridge, 2007.