

## Eliminação de ruído AWGN de sinais de espectrômetros de EPR por Transformada Discreta de Fourier, com aplicação em dosimetria das radiações

**Fábio Pelicano B. Vieira,**      **Joyce S. Bevilacqua**

USP – IME – Depto de Matemática Aplicada

05508-090, São Paulo, SP

E-mail: [fpbvieira@gmail.com](mailto:fpbvieira@gmail.com), [joyce.bevilacqua@gmail.com](mailto:joyce.bevilacqua@gmail.com)

**Orlando Rodrigues Jr.**

IPEN – Gerência de Metrologia das Radiações

05508-000, São Paulo, SP

E-mail: [rodrijr@ipen.br](mailto:rodrijr@ipen.br)

### RESUMO

#### Introdução e objetivo

Radiações ionizantes produzem, em certas substâncias, uma quantidade de centros paramagnéticos proporcional à dose absorvida [3]. Tal quantidade pode ser obtida por espectrometria de Ressonância Paramagnética Eletrônica (*Electron Paramagnetic Resonance – EPR*) [5], sendo a técnica de interesse para a área de dosimetria das radiações.

Os espectrômetros produzem espectros brutos compostos de uma assinatura do material, relacionada à presença dos centros paramagnéticos, e de ruído, que advém de fontes diversas, como a eletrônica do equipamento e acoplamento do sistema formado por cavidade, tubo e amostra, e que pode ser eliminado por pós-processamento matemático. Neste trabalho, será desenvolvido um algoritmo para identificar automaticamente a frequência de corte e eliminar o ruído de alta frequência de sinais de EPR. Aplica-se um filtro passa-baixa na Transformada Discreta de Fourier (TDF) [1] do sinal amostrado, que em seguida é reconstruído por Transformada Inversa Discreta de Fourier (TIDF) [1]. O algoritmo será testado em sinais simulados com base em modelo teórico e em sinais experimentais obtidos com um espectrômetro Bruker modelo EMX operando na banda X.

#### Modelagem matemática e algoritmo

O espectro bruto é dado por

$$S(t) = w(t) + r(t), \tag{1}$$

em que  $w(t)$  representa a assinatura do material e  $r(t)$ , o ruído. A Figura 1 ilustra todo o processo sobre um sinal simulado, que foi gerado considerando-se que  $w$  tem a forma de derivada de Gaussiana,

$$w(t) = \left( a \cdot e^{-\frac{(t-b)^2}{2c^2}} \right)' = -\frac{a(t-b)}{c^2} e^{-\frac{(t-b)^2}{2c^2}}, \tag{2}$$

sendo  $a, b, c \in \mathbb{R}$ , com  $a \cdot c \neq 0$ .

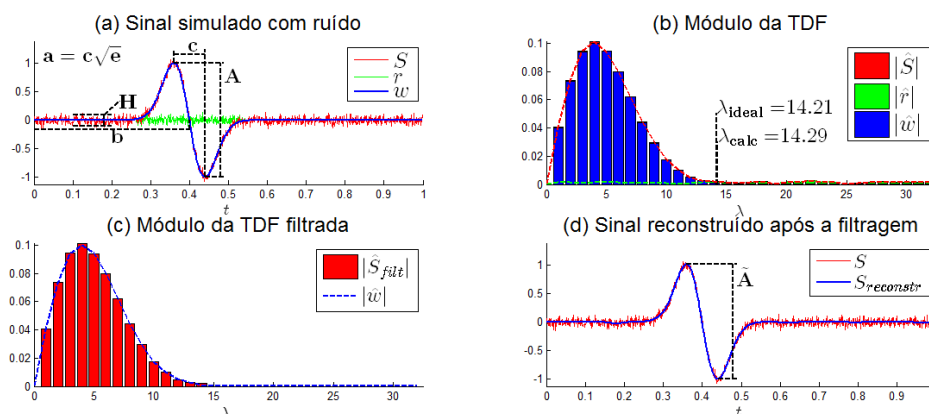


Figura 1: esquema do algoritmo

Considerou-se que o ruído  $r$  é aditivo, com média nula e distribuído normalmente, com desvio-padrão  $\frac{H}{4}$  e amplitude  $H$ . A diferença entre o máximo e o mínimo de  $w$ , que será denotada por  $A$  e denominada amplitude do sinal objetivo, é diretamente proporcional à dose absorvida, sendo, portanto, a variável de interesse para a área de dosimetria das radiações. O algoritmo obtém, a partir de  $S$ , uma estimativa  $\tilde{A}$  de  $A$  tal que o erro relativo seja de até 0,5%. A sequência de passos executados pelo algoritmo é:

1. Calcula  $\hat{S}(\lambda)$  (Figura 1.b)
2. Calcula  $\lambda_{max,S}$
3. Calcula  $\lambda_{calc} = 3,5716 \cdot \lambda_{max,S}$  (resultado obtido teoricamente)
4. Exclui as frequências acima de  $\lambda_{calc}$  em  $\hat{S}$  (Figura 1.c)
5. Calcula a TIDF de  $\hat{S}$
6. O sinal reconstruído  $S_{reconstr}$  é a parte real da TIDF de  $\hat{S}$  (Figura 1.d)

## Resultados e conclusão

Considerando-se  $a = c\sqrt{e}$  e  $b = 0,5$ , simulações foram feitas para valores de  $c$  no intervalo  $[0,01; 0,1]$  e amplitudes do ruído  $H$  no intervalo  $[0,02; 0,4]$ . Para sinais simulados, os resultados foram muito bons. O erro relativo médio entre  $A$  e  $\tilde{A}$ , para 30 execuções do algoritmo, foi inferior a 0,5% para  $c$  em  $[0,04; 0,1]$  e  $H$  em  $[0,02; 0,1]$ . Como esperado, valores de  $c$  no intervalo  $[0,001; 0,03]$  produzem erros relativos médios superiores a 0,5%.

Sinais experimentais produzidos pelo espectrômetro [5] a partir de uma amostra de hidroxiapatita natural irradiada, como mostra a Figura 2.a, com medidas efetuadas à temperatura ambiente, foram submetidos ao algoritmo. Nesses casos, a presença da linha de base, em geral uma componente do espectro que apresenta um período longo [2], compromete a estimativa de  $\lambda_{max}$  e faz com que  $\lambda_{calc}$  (Figura 2.b) seja inferior a  $\lambda_{ideal}$ . Com a intervenção do usuário na estimação de  $\lambda_{max}$ , por simples semelhança visual com uma TDF como a exibida na Figura 1.b, o ruído de alta frequência é adequadamente eliminado, como mostra a Figura 2.c, em que  $S_{oper}$  é o sinal reconstruído com a intervenção.

Conclui-se que o método é adequado para eliminar o ruído de alta frequência desde que não haja, simultaneamente, a linha de base. Isso motivou estudos adicionais sobre a remoção de ruído, em particular a linha de base [4], os quais estão em andamento.

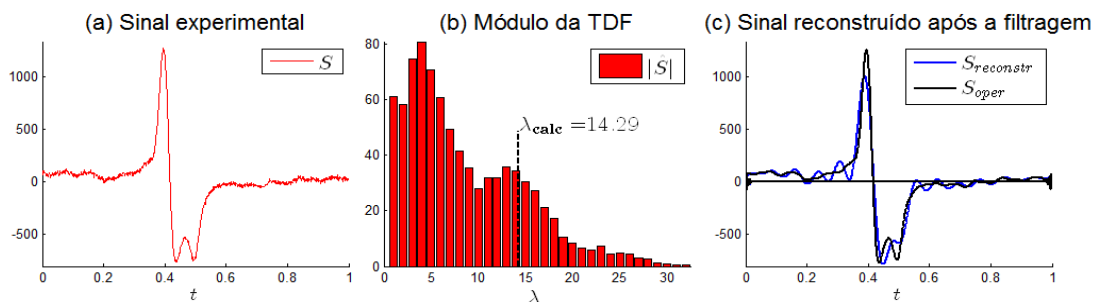


Figura 2: algoritmo aplicado sobre o espectro bruto da hidroxiapatita natural irradiada

## Referências

- [1] Damelin, S. B., Miller Jr., W., “The Mathematics of Signal Processing”, Cambridge University Press, Cambridge, 2012.
- [2] Banwell, C. N., McCash, E. M., Fundamentals of Molecular Spectroscopy, McGraw-Hill, Berkshire, 1994
- [3] Desrosiers, M., Schauer, D.A., Electron paramagnetic resonance (EPR) biodosimetry, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, vol. 184, pp. 219-228, (2001).
- [4] Galloway, C. M., Le Ru, E. C., Etchegoin, P.G., An Iterative Algorithm for Background Removal in Spectroscopy by Wavelet Transforms, Applied Spectroscopy, Society for Applied Spectroscopy, vol. 63, núm. 12, pp 1370 – 1376, (2009).
- [5] Weil, J. A., “Electron paramagnetic resonance: elementary theory and practical applications”, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007.