

# Descontaminação de Sinais de Eletrocardiograma via Wavelets

Henrique M. de Oliveira, Clodoaldo A. P. Lima e Marcio Eisencraft

**Resumo**—Neste trabalho de iniciação científica são mostrados resultados computacionais do uso da descontaminação via *wavelets* de sinais de eletrocardiograma (ECG). Nas simulações foram utilizados sinais de ECG artificiais adicionados a ruído branco gaussiano. Compara-se o desempenho desta técnica utilizando diversas famílias de *wavelets*. Os resultados são promissores.

**Palavras-Chave**— Descontaminação, *wavelets*, eletrocardiograma.

**Abstract**—In this short paper we show computational results of wavelet-based de-noising of electrocardiogram signals (ECG). It was used artificial ECG added to white gaussian noise. We compare the performance of this technique using different wavelet families. The results are auspicious.

**Keywords**—de-noising, *wavelets*, electrocardiogram.

## I. INTRODUÇÃO

Neste trabalho estuda-se a decomposição de sinais de eletrocardiograma (ECG) por meio do método de *wavelet shrinkage* [1, 2].

*Wavelets* são um conjunto de funções-bases que atendem certos requisitos e são usadas para representar funções do tempo  $f(t)$  [1]. Essas funções-base são construídas a partir de uma única função conhecida como *wavelet*-mãe  $\psi(t)$  que deve atender as seguintes características [3]:

a) a área total sob a curva da função deve ser nula,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0; \quad (1)$$

b) deve possuir energia finita,

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty. \quad (2)$$

Escolhida então uma *wavelet*-mãe, define-se um conjunto base de funções [2]

$$\psi_{j,k}(t) = 2^{j/2} \psi(2^j t - k), \quad j, k \in \mathbb{Z} \quad (3)$$

e a expansão *wavelet* de uma função  $f(t)$  é dada por

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} a_{j,k} \psi_{j,k}(t). \quad (4)$$

Henrique M. de Oliveira, Clodoaldo A. P. Lima e Marcio Eisencraft, Escola de Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, Brasil, e-mails: hen.oliveira@gmail.com, moraes@mackenzie.br, marcioft@mackenzie.br.

Os coeficientes *wavelets*  $a_{jk}$  são obtidos pelo produto escalar entre  $f(t)$  e  $\psi_{j,k}(t)$ .

## II. DESCONTAMINAÇÃO

Uma das aplicações mais interessantes da transformada *wavelets* em Processamento Digital de Sinais é na *descontaminação* de sinais. Uma das técnicas desenvolvidas para isso é conhecida como *wavelet shrinkage* e foi elaborada por Donoho e Johnstone entre outros [4, 5].

Resumidamente, esta técnica consiste inicialmente em decompor o sinal por meio de transformadas *wavelets*. A seguir, em cada nível, eliminam-se os coeficientes de detalhe *wavelets* abaixo de um limiar fixo ou adaptativo. O limiar ainda pode ser rígido ou suave [4, 5]. Por fim, o sinal é reconstruído a partir dos novos coeficientes *wavelets*.

O limiar a ser escolhido pode variar conforme o sinal, a *wavelet* e o ruído. Neste trabalho, utiliza-se um limiar fixo e rígido dado por [4 - 6]

$$T_m = \frac{\sqrt{2 \log(k) \sigma}}{\sqrt{k}}, \quad (5)$$

em que  $k$  é o comprimento da transformada no nível de decomposição  $m$  e  $\sigma^2$  é a variância do ruído.

## III. SIMULAÇÕES

O sinal de ECG artificial utilizado aqui  $s(t)$  é gerado por meio do algoritmo `ecgsyn.m` desenvolvido por P. McSharry e G. Clifford para o programa de simulação numérica Matlab® [7]. Utiliza-se uma frequência de amostragem de 256Hz e 60 batimentos por minuto. A esse sinal é somado um ruído branco gaussiano com média nula, gerando-se o sinal  $s'(t)$ .

A eficiência do método é medida pelo ganho  $G$  do sistema,

$$G = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}}, \quad (6)$$

em que  $SNR_{in}$  representa a razão entre a potência do sinal original e a potência do ruído branco gaussiano adicionado a ele e o valor de  $SNR_{out}$  representa a razão sinal-ruído da saída, obtida pela razão entre a potência do sinal original e a potência do ruído do sinal recuperado, dado pela diferença entre o sinal original e o recuperado.

Utilizou-se uma decomposição em  $m = 2$  níveis. Esta escolha foi adotada por ser a que apresenta melhores resultados em testes preliminares.

Para a simulação foram utilizadas quatro diferentes famílias *wavelets*: (i) Haar (haar), (ii) Daubechies de ordem 9 (db9),

(iii) Symlets de ordem 2 (sym2) e (iv) Coiflets de ordem 2 (coif2) [1].

Um exemplo de aplicação do método é mostrado na Figura 1. Em (a) mostra-se um trecho de sinal de ECG sem ruído e em (b) o mesmo trecho agora contaminado por ruído branco gaussiano com  $SNR_{in} = 10$  dB. Na Figura 1(c) é apresentado o trecho de sinal recuperado utilizando a *wavelet* db9. Em (d) mostra-se o erro entre o sinal original e o contaminado e, por fim, em (e) o erro entre o sinal original e o recuperado. Neste caso, obteve-se uma  $SNR_{out} = 16.1$  dB levando a um ganho de  $G = 6.1$  dB.

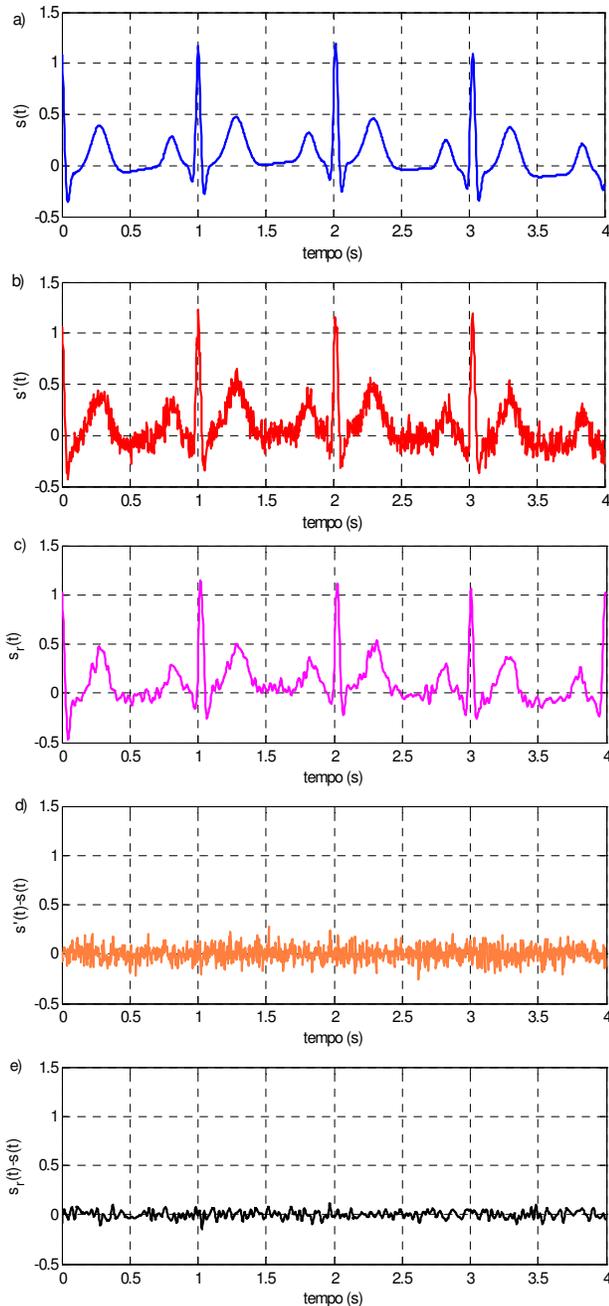


Fig. 1. Sinais de eletrocardiograma: a) sinal original; b) Sinal contaminado; c) sinal recuperado  $s_r(t)$ ; d) erro entre o sinal original e o contaminado; e) erro entre o sinal original e o recuperado.

A Figura 2 mostra uma comparação entre o ganho obtido para os quatro tipos de *wavelets* utilizadas em função da razão sinal ruído de entrada variando de -10 a 10dB.

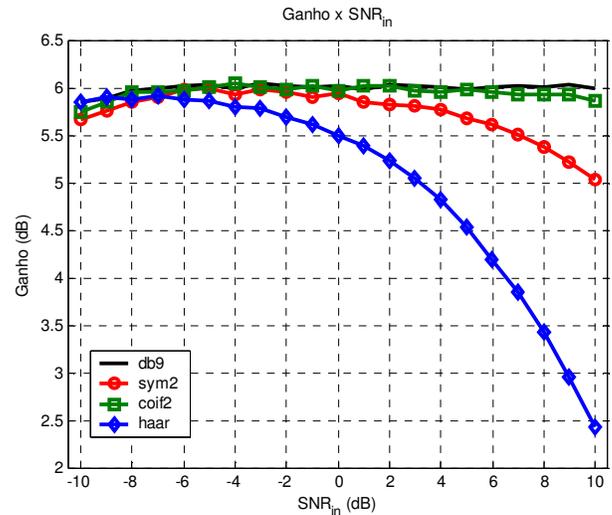


Fig. 2. Comparação de ganho entre as wavelets utilizadas em relação à razão sinal-ruído de entrada

#### IV. CONCLUSÕES

Este trabalho mostra alguns resultados referentes à aplicação do *wavelet shrinkage* para eliminação de ruído branco gaussiano de sinais de ECG. O método apresenta ganhos de aproximadamente 6dB na razão sinal-ruído com o uso das *wavelets* coif2 e db9. Essas duas famílias apresentam superioridade as *wavelets* sym2 e haar a partir de 0dB, quando elas se mantêm constantes e as outras apresentam redução em seu ganho. A *wavelet* de haar é a que apresenta os menores ganhos para elevados níveis de razão sinal-ruído de entrada

Mais estudos devem ser feitos a fim de justificar teoricamente estes resultados.

#### REFERÊNCIAS

- [1] G. Kaiser, *A Friendly Guide to Wavelets*, Birkhauser, 1994.
- [2] S. Poornachandra, "Wavelet-based denoising using sub-band dependent threshold for ECG signals", *Digital Signal Processing*, n. 18, p. 49-55, 2008.
- [3] S. Mallat, *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Academic Press, 1999.
- [4] H. M. de Oliveira, *Análise de Sinais para Engenheiros – Uma Abordagem via Wavelets*. Brasport – Sociedade Brasileira de Telecomunicações, 2007.
- [5] D.L. Donoho and I. M. Johnstone, "Threshold Selection for Wavelet Shrinkage of Noisy Data", *Proceedings of the 16th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, v.1, p. A24-A25, 1994.
- [6] C. Taswell, "The What, How, and, Why of Wavelet Shrinkage Denoising", *Computing in Science & Engineering*, v. 2, n. 3, p. 12-19, 2000.
- [7] P. McSharry and G. Clifford, "A Dynamical Model for Generating Synthetic Electrocardiogram Signals", *IEEE Transactions On Biomedical Engineering*, v. 50, n. 3, p. 289 – 294, 2003.