

## Extração de parâmetros de ECG através da Transformada Wavelet

### Extraction of ECG parameters using Wavelet Transform

#### RESUMO

Diego de Freitas Maia  
[dmaia@alunos.utfpr.edu.br](mailto:dmaia@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

Eduardo Giometti Bertogna  
[ebertonha@gmail.com](mailto:ebertonha@gmail.com)  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, Paraná, Brasil

A transformada *Wavelet* é um método matemático muito promissor para a análise em tempo-frequência que decompõe o sinal em coeficientes que descrevem seus detalhes em diferentes instantes de tempo, fazendo assim uma análise em tempo-escala. Neste trabalho será proposto a utilização de transformadas *Wavelet* discretas para detecção automática dos pontos característicos do eletrocardiograma. Para tal objetivo utilizou-se a transformada *Wavelet* discreta de *Daubechies 6* na detecção da onda T e o complexo QRS. A implementação do algoritmo fora realizada no *software* MATLAB, o mesmo faz a decomposição de cinco níveis do sinal, utilizando o detalhe de terceiro nível para a detecção do complexo QRS, e a quinta aproximação para detecção da onda T. O resultado da aplicação do algoritmo apresenta pequenos erros em relação a posição dos pontos e um erro na detecção do pico R em sua sétima ocorrência na amostra utilizada, devido a magnitude do ponto S nesse evento ser maior que a do ponto R. A estrutura iterativa do algoritmo permite a implementação do mesmo em dispositivos microcontrolados para detectar arritmias cardíacas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Eletrocardiografia. Wavelets. Estimativa de parâmetros.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autorial:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



#### ABSTRACT

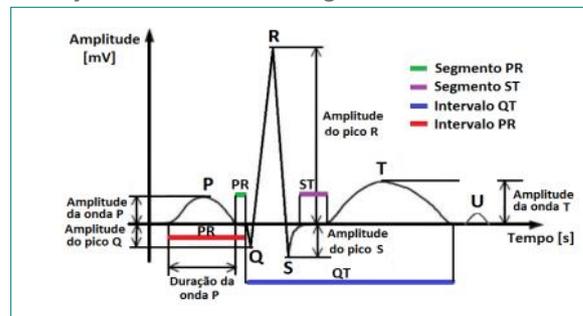
The Wavelet transform is a very promising mathematical method for time-frequency analysis that breaks the signal down into coefficients that describe its details at different time points, thus making a time-scale analysis. In this work, the use of discrete Wavelet transforms will be proposed for automatic detection of the characteristic points of the electrocardiogram. For this purpose, the Daubechies 6 discrete Wavelet transform was used to detect the T wave and the QRS complex. The implementation of the algorithm was performed in the MATLAB software, it decomposes five levels of the signal, using the third level detail for the detection of the QRS complex, and the fifth approach for the detection of the T wave. The result of the application of the algorithm presents small errors in relation to the position of the points and an error in detecting peak R in its seventh occurrence in the sample used, due to the magnitude of point S in this event being greater than that of point R. The iterative structure of the algorithm allows the implementation of the even in microcontrolled devices to detect cardiac arrhythmias.

**KEYWORDS:** Electrocardiography. Wavelets. Estimation of parameters.

## INTRODUÇÃO

O eletrocardiograma (ECG) é uma importante ferramenta para o diagnóstico de doenças cardiovasculares (MADEIRO; CORTEZ; MARQUES, 2009, p. 155). Esse exame analisa graficamente a atividade elétrica do coração, sendo que o sinal analisado é constituído pelo somatório das tensões elétricas gerados pelo órgão durante o ciclo de seu batimento. Um ciclo de um ECG comum é constituído pela onda P, que se refere a despolarização atrial, o complexo QRS é o sinal gerado pela despolarização ventricular, e a onda T que demonstra a rápida repolarização ventricular (Figura 1). Cada uma dessas ondas tem uma faixa de valores pré-definidos de amplitude e duração, por isso a detecção precisa desse sinal é importante para o diagnóstico de possíveis enfermidades (CUIWEI; CHONGXUN; CHANGFENG, 1995, p. 21).

Figura 1 – Representação de um eletrocardiograma comum e suas ondas constituintes

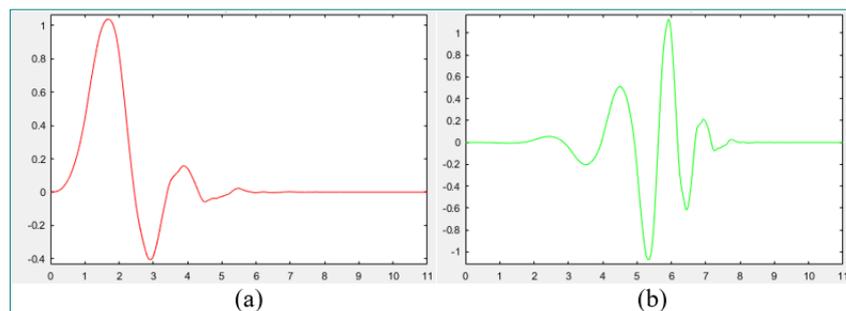


Fonte: Autoria própria (2020).

Na análise computacional de sinais ECG, uma das ferramentas mais utilizadas são as transformadas *Wavelet* (TW). A TW é um método matemático muito promissor para a análise em tempo-frequência que decompõe o sinal em coeficientes que descrevem os detalhes do sinal em diferentes instantes de tempo, fazendo assim uma análise em tempo-escala. Esse método é amplamente utilizado em algoritmos de detecção automática dos parâmetros de sinais ECG (NARAYANA; RAO, 2011, p. 60).

Neste trabalho será proposto a utilização de transformadas *Wavelet* discretas (TWD) para detecção automática dos pontos característicos do eletrocardiograma. Para tal objetivo utilizou-se a TWD de *Daubechies 6*, por apresentar uma função de suporte semelhante ao sinal ECG (Figura 2), para a detecção da onda T e o complexo QRS.

Figura 2 – Função *Scaling* (a) e *Wavelet* (b) utilizadas na TWD de *Daubechies 6*

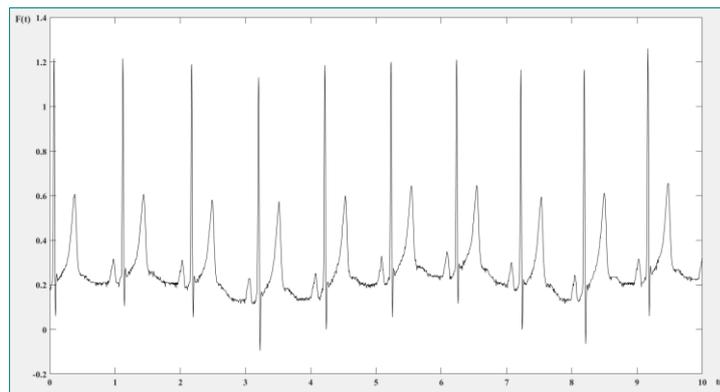


Fonte: Autoria própria (2020).

## METODOLOGIA

O algoritmo de detecção consiste na aplicação da TW de *Daubechies 6* (db6) para decomposição do sinal ECG. Essa decomposição gera derivações com os detalhes do sinal original em diferentes níveis de frequência. Utilizou-se nesse trabalho o banco de dados Europeu ST-T para análise, sendo que seus registros foram amostrados a uma taxa de 250 amostras por segundo com uma resolução de 12 bits e uma entrada nominal de 20 milivolts (Figura 3) ECG (PHYSIONET, 2009).

Figura 3 – Eletrocardiograma edb/e0119 retirado do banco de dados Europeu ST-T



Fonte: Autoria própria (2020).

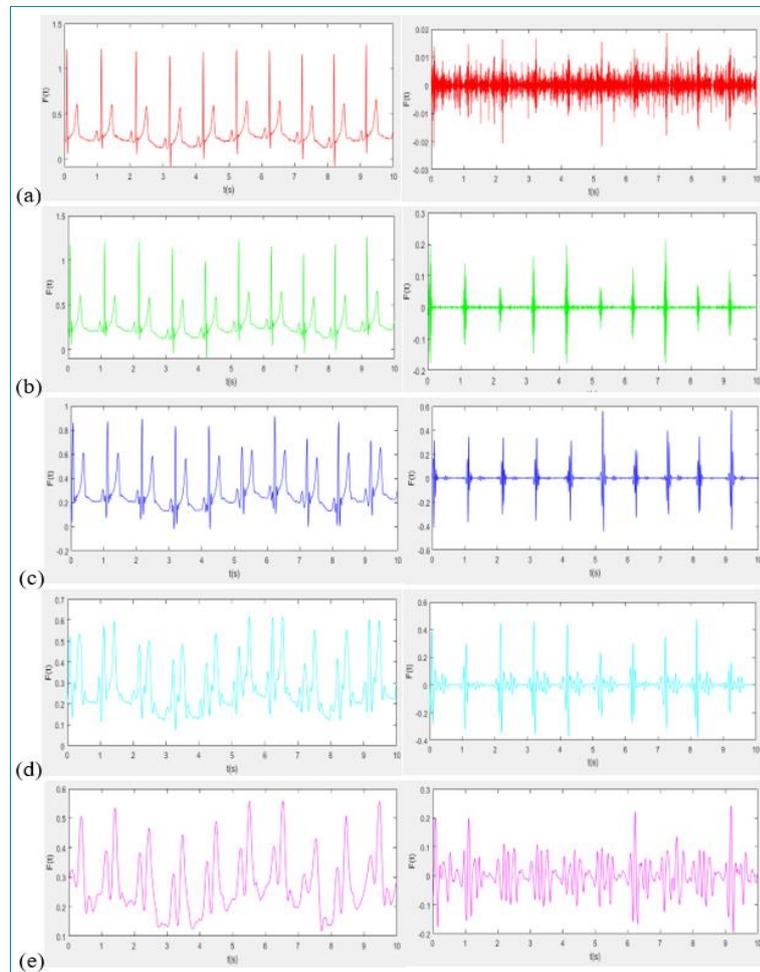
O processo de decomposição pela TW consiste em um processo iterativo que gera duas componentes do sinal: as aproximações e os detalhes. As aproximações são componentes de alta escala e baixa frequência que são obtidas pela filtragem do sinal pelo filtro passa-baixas db6, já os detalhes são componentes de baixa escala e alta frequência obtidos na aplicação de um filtro passa-altas. O processo de decomposição pode atingir vários níveis, sendo que na primeira decomposição aplica-se os filtros no sinal original, o segundo nível faz-se a filtragem a partir da primeira aproximação e assim por diante, esse processo é chamado de árvore de decomposição *Wavelet*. Após cada etapa é feita uma redução do número de amostras pela metade das aproximações e detalhes (SILVA; SOARES; SOTOMAYOR, 2015, p. 965).

Para a análise do sinal ECG fora implementado um algoritmo no *software* MATLAB que realiza a decomposição de cinco níveis do mesmo. A detecção do complexo QRS fora feito sob o detalhe de terceiro nível, e a detecção da onda T fora obtida a partir da quinta aproximação do sinal. A Figura 4 enumera as aproximações e decomposições, respectivamente.

O filtro passa-baixas e passa-altas utilizados na TW de *Daubechies 6* tem os coeficientes enumerados na Tabela 1.

A maioria dos algoritmos de detecção dos parâmetros do ECG dependem da correta detecção do pico R (ESPIRITU-SANTO-RINCON; CARBAJAL-FERNANDEZ, 2010, p. 251), para determinar sua localização fora feito a substituição dos valores negativos do detalhe da terceira decomposição por zeros e os valores restantes foram elevados ao quadrado, posteriormente aplicou-se um algoritmo de detecção de picos que retornaram suas respectivas posições.

Figura 4 – Aproximações e Decomposições do sinal ECG, respectivamente. (a) Primeiro nível, (b) segundo nível, (c) terceiro nível, (d) quarto nível e (e) quinto nível



Fonte: Autoria própria (2020).

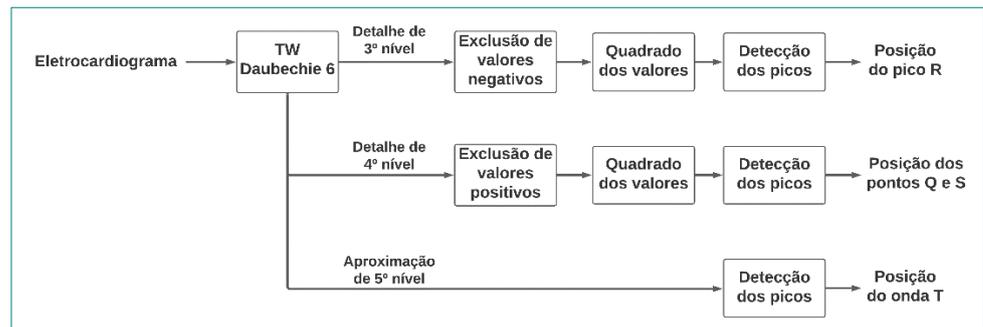
Tabela 1 – Coeficientes dos filtros passa-baixas ( $H(n)$ ) e passa-altas ( $G(n)$ )

$H(n)$	$G(n)$
-0.001077	-0.111541
0.004777	0.494624
0.000554	-0.751134
-0.031582	0.315250
0.027523	0.226265
0.097502	-0.129767
-0.129767	-0.097502
-0.226265	0.027523
0.315250	0.031582
0.751134	0.000554
0.494624	-0.004777
0.111541	-0.001077

Fonte: Autoria própria (2020).

Um método semelhante foi utilizado na detecção dos pontos Q e S, no detalhe de nível 4 foram substituídos os valores positivos por zero e aplicando o mesmo algoritmo de detecção de picos, com diferentes ajustes, obteve-se as posições desses pontos. Já para a localização da onda T, fora analisado a quinta aproximação do sinal ECG, que como mostrado na Figura 4 (e), essa onda fica evidente devido a supressão de frequências mais altas as dessa onda. O diagrama do algoritmo utilizado é demonstrado na Figura 5.

Figura 5 – Diagrama do algoritmo utilizado para detecção dos parâmetros ECG



Fonte: Autoria própria (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

O resultado da aplicação do algoritmo de detecção do complexo QRS e onda T obtiveram uma boa taxa de acerto com base no cálculo do *root mean square error* (RMSe) representado pela Eq. (1). Houve apenas pequenos erros em relação a posição do pico, vide Tabelas 2, 3, 4 e 5. Houve também um erro na detecção do pico R em sua sétima ocorrência na amostra utilizada, devido a magnitude do ponto S nesse evento ser maior que a do ponto R. Os resultados da detecção do pico R são apresentados na Tabela 2 e resultaram em um RMSe médio de 0,75%.

$$RMSe = \frac{\sqrt{\sum(R_{medido} - R_{real})^2}}{R_{real}} \quad (1)$$

Tabela 2 – Posições dos picos R em comparação com as posições detectadas

Ocorrência	Posição (amostra)	Posição detectada (amostra)
1ª	18	17
2ª	281	281
3ª	545	545
4ª	801	801
5ª	1055	1065
6ª	1309	1309
7ª	1560	1560
8ª	1860	1860
9ª	2049	2049
10ª	2293	2293

Fonte: Autoria própria (2020).

Quanto ao algoritmo de detecção dos pontos Q e S apresentaram uma maior taxa de erro, 26,25% e 1,39% respectivamente. O ponto Q apresentou dois erros, um como consequência do erro da detecção do pico R e o segundo devido à baixa amplitude da onda nessa ocorrência. As Tabelas 3 e 4 apresentam os resultados do algoritmo de detecção dos pontos Q e S.

Tabela 3 – Posições dos pontos Q em comparação com as posições detectadas

Ocorrência	Posição (amostra)	Posição detectada (amostra)
1ª	4	6
2ª	266	271
3ª	528	534
4ª	786	790
5ª	1035	Erro
6ª	1293	1296
7ª	1545	1551
8ª	1791	1796
9ª	2031	2038
10ª	2238	Erro

Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 4 – Posições dos pontos S em comparação com as posições detectadas

Ocorrência	Posição (amostra)	Posição detectada (amostra)
1ª	23	25
2ª	287	289
3ª	550	553
4ª	807	809
5ª	1060	1065
6ª	1309	1309
7ª	1565	1568
8ª	1811	1817
9ª	2054	2057
10ª	2298	2304

Fonte: Autoria própria.

Já na obtenção dos pontos da onda T, não houve a necessidade de tratamento do sinal, apenas a quinta aproximação do sinal ECG pela *Wavelet* de *Daubechies* 6 fora suficiente para detectar o pico.

Tabela 5 – Posições das ondas T em comparação com as posições detectadas

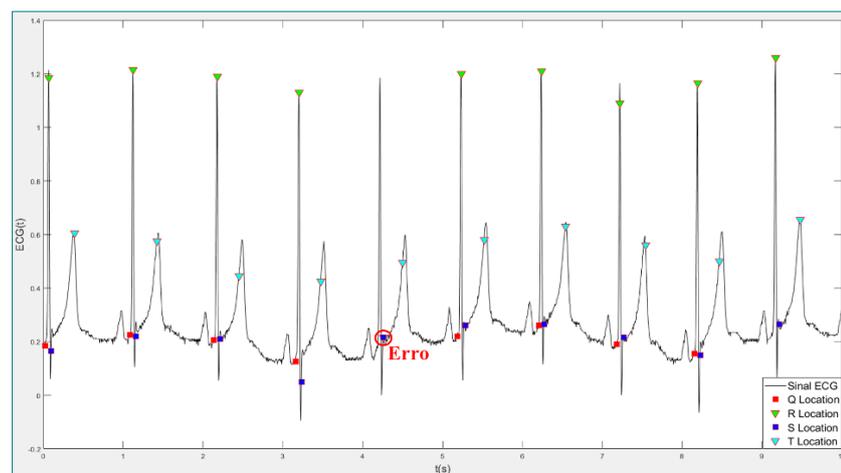
Ocorrência	Posição (amostra)	Posição detectada (amostra)
1ª	96	97
2ª	360	356
3ª	623	613

4ª	879	869
5ª	1060	1065
6ª	1135	1125
7ª	1381	1387
8ª	1886	1884
9ª	2126	2117
10ª	2370	2370

Fonte: Autoria própria (2020).

O resultado da detecção da onda T é demonstrado na Tabela 5 que apresenta os valores obtidos em relação a posição real do pico, o RMSe calculado foi de 2,53%. Quanto a onda P os métodos empregados nesse trabalho não foram eficazes para a detecção dessa onda. A Figura 6 apresenta os todos os resultados obtidos, devido a presença de alguns erros e a falta de detecção da onda P, não foi possível obter alguns valores referentes a duração dos segmentos e intervalos apresentados na Figura 1.

Figura 6 – Resultados da detecção dos parâmetros do eletrocardiograma



Fonte: Autoria própria (2020).

## CONCLUSÕES

A aplicação da transformada *Wavelet* de *Daubechies* se mostrou uma ótima ferramenta na análise de sinais ECG, em conjunto com a estrutura iterativa do algoritmo permite a implementação do mesmo em dispositivos microcontrolados para detecção arritmias cardíacas. Como soluções para os problemas encontrados nesse trabalho recomenda-se a aplicação de outras aproximações de transformadas *Wavelet* como as bi-ortogonais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Prof. Dr. Eduardo Giometti Bertogna, pelo trabalho como orientador, e ao Prof. Me. Osmar Tormena Junior pelo auxílio e resolução das minhas dúvidas durante a execução do trabalho.

## REFERÊNCIAS

CUIWEI, L.; CHONGXUN, Z.; CHANGFENG, T. Detection of ecg characteristic points using wavelet transforms. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 42, n. 1, p. 21-28, 1995.

ESPIRITU-SANTO-RINCON, A.; CARBAJAL-FERNANDEZ, C. ECG feature extraction via waveform segmentation. *In: 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICAL ENGINEERING COMPUTING SCIENCE AND AUTOMATIC CONTROL*, 2010. **Anais...** Tuxtla Gutierrez: IEEE, 2010.

MADEIRO, J. P.V.; CORTEZ, P. C.; MARQUES, J. A. L. Análise comparativa de desempenho das transformadas wavelet e hilbert na detecção do qrs em ecg. **Revista Brasileira de Engenharia Biomédica**, v. 25, n. 3, p. 153-166, 2009.

NARAYANA, K.V.L.; RAO, A. Wavelet based qrs detection in ecg using matlab. **Innovative Systems Design and Engineering**, v. 2, n. 7, p. 60-69, 2011.

PHYSIONET. **European st-t database**. 2009. Disponível em <<https://physionet.org/content/edb/1.0.0/>>. Acesso em: ago. 2019.

SILVA, G. M. A.; SOARES, C. P.; SOTOMAYOR, O. A. Z. Teoria wavelet na análise de sinais de ecg como ferramenta de auxílio na detecção de arritmias cardíacas. *In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE (SBAI)*, p. 963-968, 2015. **Anais...** Natal: SBAI, 2015.