

Implementação e testes de algoritmo de extração de parâmetros de ECG através de transformada wavelet

Implementation and tests of algorithm for extraction of ECG parameters using wavelet transforms

DOI:10.34117/bjdv7n9-199

Recebimento dos originais: 07/08/2021

Aceitação para publicação: 01/09/2021

Diego de Freitas Maia

D.F. Maia

Academic Department of Electronics Engineering, Federal University of Technology – Parana, Campo Mourão, Brazil

Graduando em Eng. Eletrônica pela UTFP/Campo Mourão.

Atualmente é formando do Curso de Eng. Eletrônica pela UTFPR/Campo Mourão.

Endereço: DAELN/UTFPR - Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 - Área Urbanizada I, Campo Mourão/PR, CEP: 87301-899.

E-mail: dmaia@alunos.utfpr.edu.br

João Reni Lisot Lico

J.R.L. Lico

Graduate Program in Technological Innovations, Federal University of Technology – Parana, Campo Mourão, Brazil

Bacharel em Eng. Eletrônica pela UFPR/2019.

Atualmente é programador na Cristófoli Biossegurança/Campo Mourão.

E-mail: wyrllen.souza@gmail.com

Roberto Ribeiro Neli

R.R. Neli

Graduate Program in Technological Innovations, Federal University of Technology – Parana, Campo Mourão, Brazil

Doutor em Eng. Elétrica pela UNICAMP/2012.

Atualmente é Diretor Geral da UTFPR/Campo Mourão.

Endereço: DIRGE/UTFPR - Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 - Área Urbanizada I, Campo Mourão/PR, CEP: 87301-899.

E-mail: neli@utfpr.edu.br

Eduardo Giometti Bertogna

E.G. Bertogna

Graduate Program in Technological Innovations, Federal University of Technology – Parana, Campo Mourão, Brazil

Doutor em Eng. Elétrica pela UNICAMP/2013.

Atualmente é Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Inovações Tecnológicas na UTFPR/Campo Mourão.

Endereço: PPGIT/UTFPR - Via Rosalina Maria dos Santos, 1233 - Área Urbanizada I, Campo Mourão/PR, CEP: 87301-899.

E-mail: ebertonha@gmail.com

RESUMO

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 se propõe 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.

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.

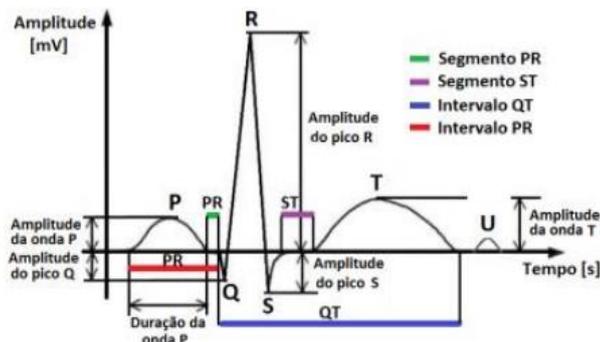
Keywords: Electrocardiography, Wavelets, Estimation of parameters.

1 INTRODUÇÃO

O eletrocardiograma (ECG) é uma importante ferramenta para o diagnóstico de doenças cardiovasculares [1]. 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 à despolarização atrial, o complexo QRS é o sinal gerado pela despolarização ventricular, e a onda T que demonstra uma 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 [2].

Figura 1 – Representação de um sinal eletrocardiográfico e suas componentes.

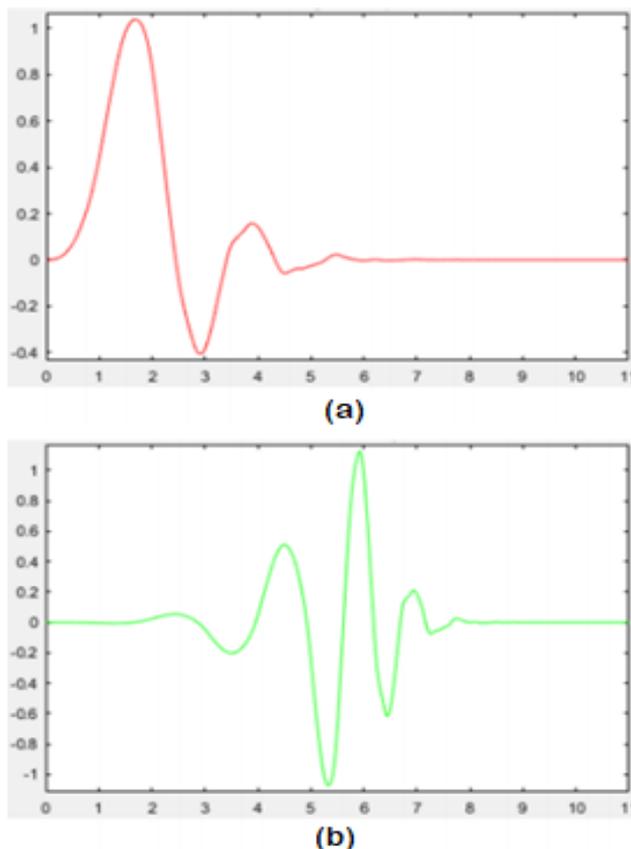


Fonte: Autores, 2021

Na análise computacional de sinais ECG, algumas 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 de ECG e redução de ruídos de ECG [3,4,5].

Neste trabalho será proposta 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.



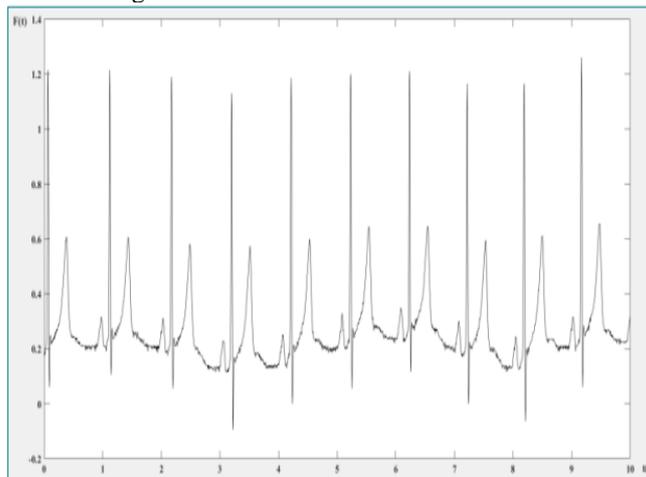
Fonte: Autores, 2021

2 MATERIAIS E MÉTODOS

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 [6].

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 [7].

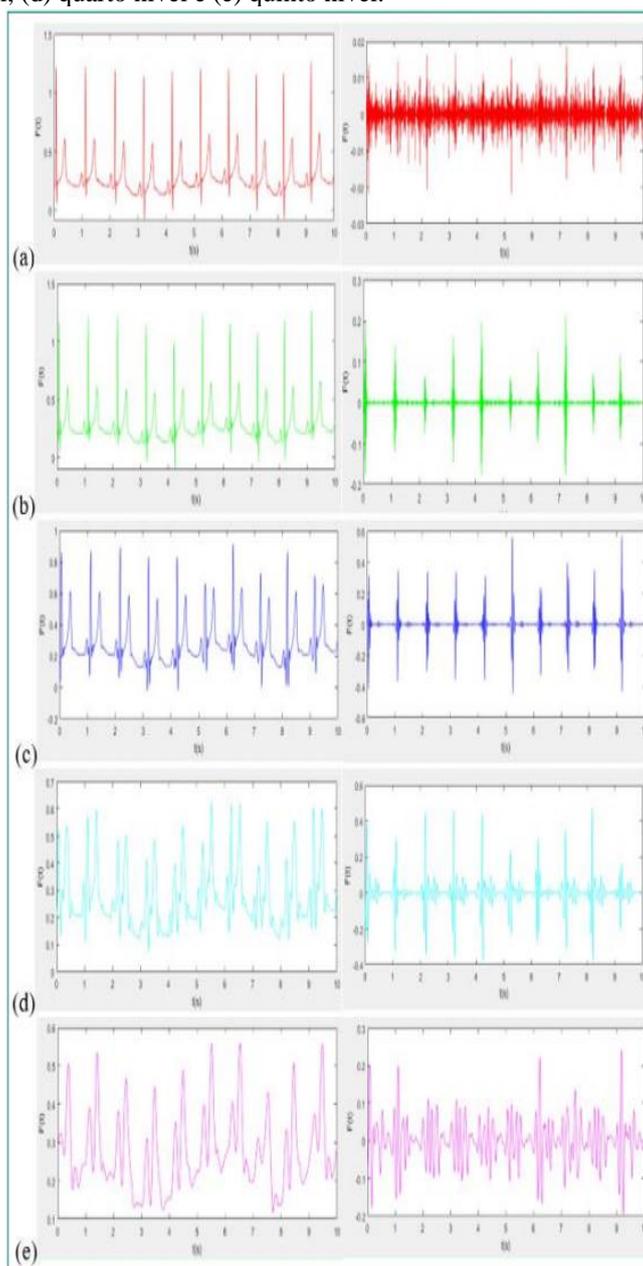
Figura 3 - Eletrocardiograma edb/e0119 retirado do banco de dados Europeu ST-T.



Fonte: Autores, 2021.

Para a análise do sinal ECG foi 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.

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: Autores, 2021.

Os coeficientes dos filtros passa-baixas e passa-altas utilizados na TW de Daubechies 6 são aqueles mostrados na Tabela 1.

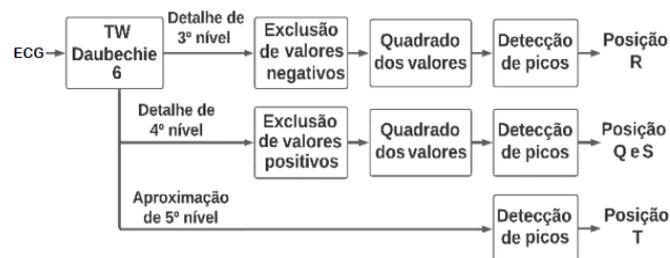
Tabela 1 – Coeficientes dos filtros passa-baixas ($H(n)$) e passa-altas ($G(n)$).

$H(n)$	$G(n)$
-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

A maioria dos algoritmos de detecção dos parâmetros do sinal de ECG depende da correta detecção do pico R [8], 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.

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, foi analisada a quinta aproximação do sinal ECG, que como mostrado na Figura 4 (e), essa onda fica evidente devido à 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 de ECG.



Fonte: Autores, 2021.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados, na forma de tabelas, os resultados do algoritmo na detecção das várias componentes do sinal de ECG em teste, ou seja: picos R, e pontos Q,

S e T. Nestas tabelas são apresentadas as posições reais das componentes do ECG em teste com as posições efetivamente detectadas pelo algoritmo implementado.

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 a seguir são apresentados os resultados do algoritmo de detecção dos picos R, Q, S e T do sinal de ECG sob teste, respectivamente.

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

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

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

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

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

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

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

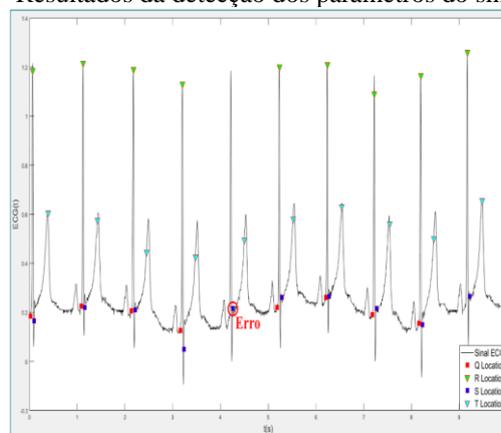
Ocorrência	Posição da amostra	Posição detectada
1	96	97
2	360	356
3	623	613
4	879	869
5	1060	1065
6	1135	1125
7	1381	1387
8	1886	1884
9	2126	2117
10	2370	2370

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 foi suficiente para detectar o pico.

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.

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 sinal de ECG.



Fonte: Autores, 2021.

4 CONCLUSÕES

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 à posição do pico, como mostrados nas 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%.

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 sua implementação em dispositivos microcontrolados para detecção arritmias cardíacas. Possíveis soluções para os problemas encontrados nesse trabalho seria a aplicação de outras aproximações de transformadas Wavelet, como a bi-ortogonal.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio dado pela UTFPR, Campus Campo Mourão, para a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] DO VALE MADEIRO, João Paulo; CORTEZ, Paulo César; LÔBO MARQUES, João Alexandre. 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, Dez./2009.
- [2] CUIWEI, Li; CHONGXUN, Zheng; CHANGFENG, Tai. Detection of ECG characteristic points using wavelet transforms. **IEEE Transactions on Biomedical Engineering**, v. 42, n. 1, p. 21-28, 1995.
- [3] NARAYANA, K.V.L.; RAO, A. B. Wavelet based QRS detection in ECG using MATLAB. **Innovative Systems Design and Engineering**, v. 2, n. 7, p. 60-69, 2011.
- [4] PEREIRA, Maria L. O. R.; FAVARETO, Isabela C.; LINHARES, Raquel R. Aplicação da metodologia Wavelet Shrinkage para redução de sinais ruidosos em Eletrocardiograma. **Brazilian Journal of Development**, 6(6), 35395-35402, 2020.
- [5] DA COSTA, R. P., de Souza, J. L. D. S., & Miranda, F. O. Transformada wavelet de fourier aplicada a análise de sinais ruidosos. **Brazilian Journal of Development**, 5(6), 6509-6527, 2020.
- [6] PHYSIONET. European st-t database. Disponível em: <https://physionet.org/content/edb/1.0.0/>. Acesso em: 15 ago. 2019.
- [7] DA SILVA, Guilherme M. A.; SOARES, Cleidiane P.; SOTOMAYOR, Oscar A. Z. Teoria wavelet na análise de sinais de ECG como ferramenta de auxílio na detecção de arritmias cardíacas. XII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI), p. 963–968, 2015. Anais... Natal: SBAI, 2015.
- [8] ESPIRITU-SANTO-RINCON, Antonio; CARBAJAL-FERNANDEZ, Cuauhtemoc. ECG feature extraction via waveform segmentation. 7TH International Conference on Electrical Engineering Computing Science and Automatic Control, 2010. Tuxtla Gutierrez: IEEE, 2010.