

ANÁLISE DE SINAIS ECG POR MEIO DA DECOMPOSIÇÃO EMPÍRICA DE MODO E ALGORITMO DE PAN E TOMPKINS

Josué da Silva de Souza¹, Maria Eduarda Noberto dos Santos¹, Suzete Élide Nóbrega Correia¹, Cleumar da Silva Moreira¹

¹Dept. de Engenharia Elétrica, IFPB

Avenida Primeiro de Maio, 720, 58015-905, João Pessoa/PB, Brasil

josue.souza@ifpb.edu.br, m.eduardanoberto@hotmail.com, suzete@ifpb.edu.br, cleumar.moreira@ifpb.edu.br

Resumo. A análise automática computadorizada de sinais fisiológicos tem sido um grande campo de interesse desde as últimas décadas. O sinal do eletrocardiograma representa a atividade elétrica do coração e é caracterizado por um comportamento periódico ou semiperiódico. O estudo detalhado e a análise metódica de ondas, intervalos e segmentos são tipicamente compostos de três ondas significativas chamadas; Onda P, complexo QRS e onda T. Essas ondas são registros do comportamento do coração e são estudadas, analisadas e interpretadas para o diagnóstico de anormalidades cardíacas. O complexo QRS possui aspectos dominantes em relação aos outros componentes do sinal de ECG. A aquisição e o pré-processamento de sinais fisiológicos são frequentemente seguidos pela extração de parâmetros de importância clínica. No caso do sinal do eletrocardiograma (ECG), o complexo QRS é um dos parâmetros mais significativos para o diagnóstico de arritmias cardíacas. Neste trabalho, a detecção de frequências cardíacas é proposta com a adição de dois algoritmos: o método de decomposição em modo empírico (EMD) e o algoritmo de Pan e Tompkins, utilizado no pré-processamento dos sinais. O EMD visa decompor de forma adaptativa os sinais não lineares e não estacionários em uma série de sinais modulados em amplitude e frequência, denominados funções de modo intrínseco (IMF). O algoritmo foi testado em sinais do banco de dados do MIT / BIH (Massachusetts Institute of Technology - Beth Israel Hospital). Os resultados obtidos foram promissores, o algoritmo mostrou-se eficiente na detecção do complexo QRS e por conseguinte a frequência cardíaca, possibilitando a detecção de arritmias.

Palavras-chaves: ECG; EMD; Algoritmo de Pan e Tompkins; Frequência Cardíaca; Arritmias.

1 Introdução

A análise computadorizada automática de sinais fisiológicos é um grande campo de interesse desde as últimas décadas. O sinal do eletrocardiograma representa a atividade elétrica do coração e é caracterizada por um comportamento periódico ou quase periódico. O estudo minucioso e a análise metódica das ondas, dos intervalos e dos segmentos é tipicamente composto por três ondas significativas chamadas; onda P, complexo QRS e onda T, ilustrados na Figura 1. Essas ondas são registros do comportamento do coração e são estudadas, analisadas e interpretadas para diagnóstico de anormalidades cardíacas. O complexo QRS tem aspectos dominantes em relação aos outros componentes do sinal ECG.

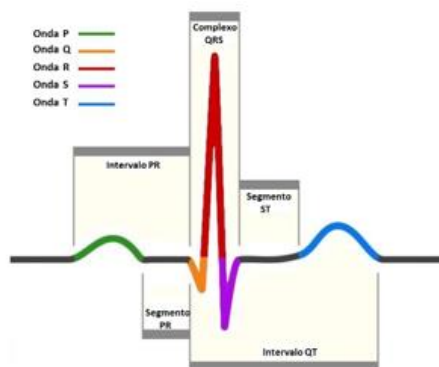


Figura 1. Ilustração do sinal ECG.

A classificação dos sinais de ECG em pessoas saudáveis e com patologias cardíacas através da frequência cardíaca pode ser realizado usando o algoritmo de Pan e Tompkins e a EMD. Foi utilizado um banco de dados do MIT-BIH (Massachusetts Institute of Technology - Beth Israel Hospital), que possui diversos sinais ECG com diversas arritmias cardíacas, o MIT-BIH Arrhythmia Database.

As arritmias estudadas aqui são a taquicardia e bradicardia. O termo taquicardia significa uma frequência cardíaca rápida, usualmente definida como a taxa acima de 100 batimentos por minuto e o termo bradicardia significa uma frequência cardíaca lenta, usualmente definida como sendo uma taxa menor que 60 batimentos por minuto, desse modo os saudáveis entre 60 e 100 batimentos por minuto.

Além da detecção de arritmias cardíacas, na literatura é possível observar uma série de pesquisas que relacionam a técnica EMD para diferentes finalidades no que diz respeito a eletrocardiogramas. Em [4] é utilizado o Método Decomposição Empírica de Modo como filtro de sinais ECG. O desempenho do método é avaliado em sinais de ECG ruidosos reais selecionados a partir do banco de dados MIT-BIH de arritmia e os resultados obtidos com o método EMD em sinais ECG reais selecionados a partir da base de dados MIT-BIH foram comparados com resultados usando o método de remoção de ruído por meio de Transformada *Wavelet*. O EMD apresentou resultados superiores para a remoção de ruídos de alta frequência, enquanto a Transformada *Wavelet* foi um pouco melhor para mudança de linha de base, do inglês *Base Wander*.

Em [5] é proposto um aprimoramento de sinais ECGs baseado em decomposição do modo empírico (EMD) e algoritmo de detecção de QRS. São seguidas as seguintes etapas: correção do desvio da linha de base é corrigido pela técnica de minimização de inclinação baseada em reconstrução seletiva dos IMF e, em seguida, o ruído de alta frequência é removido, eliminando um conjunto ruidoso de IMF de ordem inferior com uma correção estatística de pico, pois a eliminação de ruído de alta frequência. E por fim, um conjunto de IMFs é selecionado que representa a região QRS e uma transformação não linear é feita para aprimoramento do QRS. O método é testado com ECGs de diferentes condições cardiológicas, com uma boa sensibilidade e especificidade de detecção.

Em [6] apresenta uma proposta de detecção do complexo QRS utilizando EMD, o algoritmo teve os seguintes estágios: um filtro passa alto, decomposição do modo empírico do sinal, uma transformação não linear, uma integração e, finalmente, um filtro passa baixo. Para avaliar a técnica proposta, o conhecido banco de dados ECG MIT – BIH foi utilizado. No final, é comparado os resultados com uma técnica de referência de detecção denominada de “Christov's”.

Em [7] desenvolveu um algoritmo que atua essencialmente como um banco de filtros, semelhante aos envolvidos nas decomposições de *Wavelets*. E aponta que a hierarquia dos modos extraídos pode ser explorada de maneira semelhante para obter acesso ao expoente *Hurst*. O objetivo desse experimental foi contribuir para uma melhor compreensão de um aspecto específico do EMD (a maneira como decompõe o ruído de banda larga), preenchendo de alguma forma a lacuna entre uma teoria ainda inexistente e a aplicação de um método atraente a situações do mundo.

O processo de identificação e classificação de ECGs podem apresentar inúmeras possibilidades, seja num processo de pré processamento de sinais ou na identificação de alguma patologia. Nesta pesquisa o intuito é a identificação de arritmias cardíacas, ou seja, analisar segmentos das formas de onda do ECG. De tal modo, a interpretação computacional do sinal ECG utilizando a técnica de Decomposição Empírica de Modo (EMD) e o algoritmo de Pan e Tompkins é o objetivo central para essa análise.

2 Metodologia

O trabalho foi realizado conforme as seguintes etapas: aquisição dos sinais ECG do banco de dados de arritmias MIT-BIH Arrhythmia Database, pré-processamento dos sinais, decomposição empírica de modo (EMD), detecção dos picos R e determinação da arritmia existente. O algoritmo desenvolvido neste trabalho pode ser visto na Figura 2.

Para detectar os picos da onda R e assim determinar a arritmia existente foi escolhido o algoritmo de Pan e Tompkins, neste algoritmo são implementadas regras de decisões para os picos R.

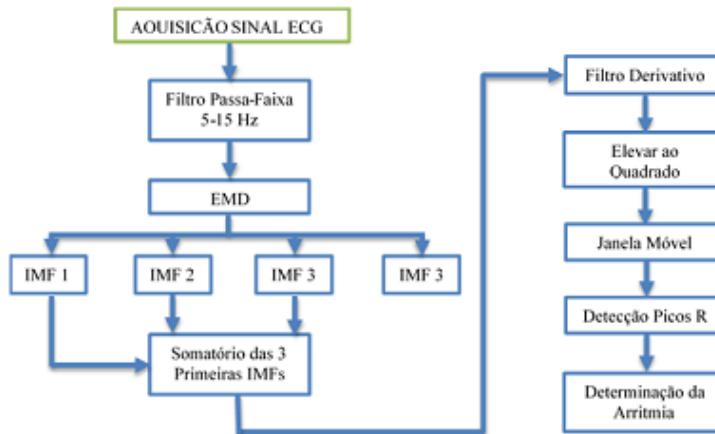


Figura 2. Metodologia empregada.

2.1 Algoritmo de Pan e Tompkins

O Algoritmo de Pan e Tompkins baseia-se na análise da inclinação, amplitude e largura dos complexos QRS. Consiste numa combinação de diversos métodos de processamento, tais como filtros passa-alta e passa-baixa, operação derivada, operação quadrática, janelas móveis, limiares adaptativos. No processo de filtragem, o sinal de ECG passa por um filtro passa-faixa com frequências de corte de 5 Hz e 15 Hz, com o intuito de reduzir a influência das fontes de ruído e melhorar a relação sinal/ruído. Em seguida, afim de acentuar os pontos máximos e mínimos, o sinal é derivado, elevado ao quadrado e então integrado com uma média móvel [2].

2.2 Decomposição Empírica de Modo – EMD

A EMD é uma técnica proposta como uma ferramenta para a decomposição de sinais num conjunto de sinais de diferentes faixas de frequências. Os métodos tradicionais como a transformada de Fourier ou *Wavelet* precisam de funções básicas predefinidas para a representação do sinal. A EMD está baseada num mecanismo totalmente orientado a dados que não requerem uma base conhecida a priori. É apropriada para sinais não lineares e não estacionários como sinais biológicos.

Baseado no que vem sendo realizado como ferramenta de diagnóstico e monitoramento em eletrocardiogramas, apresenta-se uma proposta utilizando a técnica para decomposição de séries temporais não lineares e não estacionárias, a decomposição empírica de modo (EMD) e de acordo com o princípio do EMD, ele decompõe um sinal em uma soma de funções oscilatórias, ou seja, funções do modo intrínseco (IMFs). Se todas as IMFs são somadas, incluindo o resíduo, que é o que resta do sinal após a remoção de todas as IMFs, o sinal original é recuperado. Os IMF devem ter duas características, a primeira é apresentar o mesmo número de cruzamentos extremos e zero ou diferem no máximo por um e a segunda é serem simétricos em relação à média zero local.

O algoritmo para a obtenção das IMFs consiste nos seguintes passos:

1. Para um determinado sinal $x[n]$, todos os mínimos e máximos são identificados;

2. A envoltória superior $E_{sup}[n]$ é calculada usando uma interpolação spline cúbica para conectar todos os máximos locais. Igualmente, a envoltória inferior $E_{inf}[n]$ é obtida a partir dos mínimos locais. As envoltórias superior e inferior devem cobrir todas as amostras de $x[n]$;
3. Calcular a média das envoltórias $E_{med}[n] = \frac{E_{sup}[n] + E_{inf}[n]}{2}$. O valor de $x[n]$ é atualizado através da sua subtração com média $x[n] = x[n] - E_{med}[n]$;
4. Se $x[n]$ satisfizer as condições apresentadas anteriormente para uma IMF, uma IMF $c_i[n] = x[n]$ é encontrada. As primeira IMFs contém as maiores frequências de oscilação encontradas dos sinais originais;
5. A IMF, $c_i[n]$, é subtraída de $x[n]$ para obter o resíduo $r_i[n]$;
6. O resíduo $r_i[n]$ é agora considerado o ponto de partida, em vez de $x[n]$. As etapas mencionadas anteriormente são repetidas para encontrar todas as IMFs. O processo para quando não é mais possível computar uma IMF de um resíduo. Nesse caso o resíduo é uma constante, que então é definido como resíduo final $r_k[n]$, e a partir desse momento nenhuma outra IMF pode ser extraída. Assim, no final da decomposição, $x[n]$ é representado como a soma de todas as IMFs encontradas mais o resíduo, conforme apresentado na Equação (1).

$$x[n] = \sum_{i=1}^k (c_i[n] + r_k[n]) \quad (1)$$

2.3 Aquisição, processamento e decomposição dos sinais

Primeiramente foi realizada a aquisição dos sinais do banco de dados de arritmias MIT-BIH. Foram extraídos do banco de dados 48 sinais, com 1 minuto de duração e 21600 amostras com uma frequência amostrada (F_s) de 360 Hz. O processamento consiste no processo de filtragem do sinal ECG em quatro passos: Filtro Passa-Faixa de 5-15 Hz, Filtro Derivativo, Elevação do sinal ao Quadrado e Filtro do Tipo Janela Móvel.

Após o processamento, o algoritmo de decomposição empírica de modo (EMD) é aplicado nos sinais ECGs, onde os sinais são decompostos em IMFs mais os resíduos. Em seguida, o agrupamento (soma) das três primeiras IMFs é empregado, nas quais informações de alta frequência e necessárias para a detecção do sinal R do complexo QRS estão contidas. Na Figura 3, pode-se observar as três primeiras IMFs obtidas do sinal e o agrupamento delas.

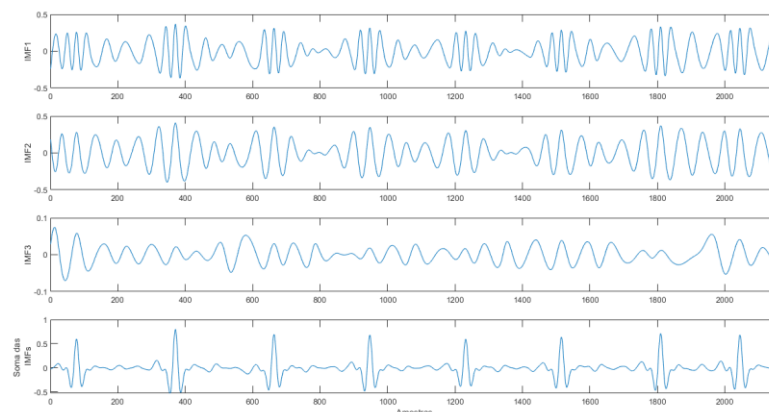


Figura 3. IMFs ECG - Amostra número 100 do *database* MIT.

2.4 Detecção das frequências cardíacas

A detecção da frequência cardíaca é realizada nos sinais com a identificação dos picos R. A quantidade de picos R do sinal determina a presença ou ausência de arritmia em cada sinal ECG.

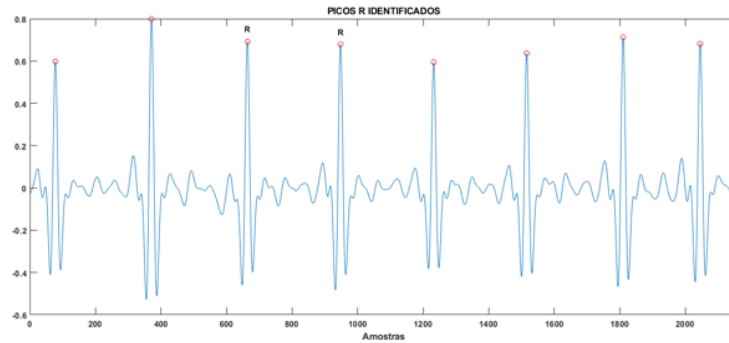


Figura 4. Detecção dos picos R – Amostra 100 do banco de dados MIT.

3 Resultados

O algoritmo desenvolvido e implementado para a detecção do pico R do complexo QRS é avaliado aplicando-o a todos os sinais do banco de dados MIT-BIH, Figura 5. Com os valores das frequências cardíacas foi realizado a comparação das frequências obtidas com as referências do banco de dados e disponíveis na literatura [3]. Recentemente, foi registrado [3] o algoritmo de Pan e Tompkins em alguns sinais do banco de dados MIT-BIH para detecção automática do complexo QRS sem utilizar a EMD. A Tabela 1, apresenta o comparativo dos resultados. Na Tabela 2, pode-se observar todos os resultados de frequência adquiridos com o algoritmo desenvolvido.

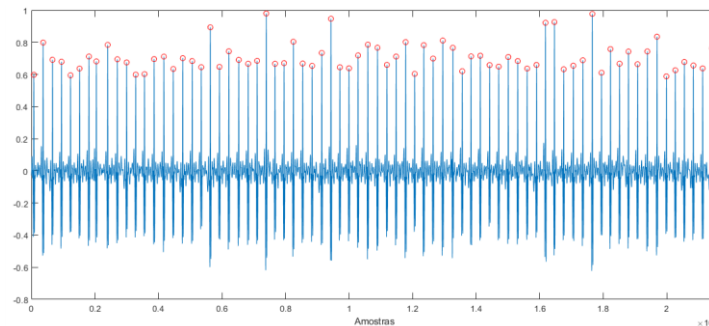


Figura 5. Detecção dos R no sinal processado – Amostra 100 do banco de dados MIT

Tabela 1. Dados comparativos de detecção do complexo QRS

Sinal	Número de picos R verdadeiros	Número de picos R detectados por (Barroso et. al, 2018)?	Número de picos R detectados
100	74	74	74
101	71	71	71
102	73	73	73
103	70	70	70
104	74	74	76
105	83	83	83
106	67	67	67
107	71	70	70
108	58	115	116
109	91	91	91

Os resultados na Tabela 1 apresentam precisão do algoritmo para detecção do complexo QRS, com baixos índices de falso negativo e falso positivos.

Tabela 2. Número de picos R detectados

Sinal	Número de picos R verdadeiros	Número de picos R detectados	Número de Falsos Positivos	%FP	Número de Falsos Negativos	%FN
100	74	74	0	0	0	0
101	71	71	0	0	0	0
102	73	73	0	0	0	0
103	70	70	0	0	0	0
104	74	76	2	2,7 %	0	0
105	83	83	0	0	0	0
106	67	67	0	0	0	0
107	71	70	0	0	1	1,40 %
108	58	116	-	-	-	-
109	91	91	0	0	0	0
111	69	69	0	0	0	0
112	85	85	0	0	0	0
113	58	58	0	0	0	0
114	54	54	0	0	0	0
115	63	63	0	0	0	0
116	78	79	1	1,28 %	0	0
117	50	50	0	0	0	0
118	73	73	0	0	0	0
119	65	65	0	0	0	0
121	60	60	0	0	0	0
122	87	87	0	0	0	0
123	49	49	0	0	0	0
124	49	49	0	0	0	0
200	87	87	0	0	0	0
201	90	89	0	0	1	1,11 %
202	53	53	0	0	0	0
203	102	101	0	0	1	0,98 %
205	89	89	0	0	0	0
207	88	80	0	0	8	9,09 %
208	106	106	0	0	0	0
209	93	93	0	0	0	0
210	92	89	0	0	3	3,26 %
212	90	90	0	0	0	0
213	111	111	0	0	0	0
214	76	76	0	0	0	0
215	113	113	0	0	0	0
217	72	72	0	0	0	0
219	74	73	0	0	1	1,35 %
220	72	72	0	0	0	0
221	78	78	0	0	0	0
222	75	75	0	0	0	0
223	80	79	0	0	1	1,25 %
228	71	72	1	1,40 %	0	0
230	79	79	0	0	0	0
231	63	63	0	0	0	0
232	57	57	0	0	0	0
233	104	104	0	0	0	0
234	92	92	0	0	0	0

4 Conclusão

O sistema proposto consegue identificar a frequência cardíaca (batimentos por minuto) através da soma das três primeiras IMF, utilizando o banco de dados MIT. Pode-se observar que o algoritmo aplicado foi eficaz, dado o baixo índice de falso positivo e falso negativo. Pode-se observar na Tabela 2 que o número total de picos R dos sinais informados pelo banco de dados é 3679, enquanto o número total detectado pelo algoritmo foi de 3725, fornecendo-nos uma diferença percentual de aproximadamente 1,25 %. Logo, a aplicação da união do algoritmo de Pan e Tompkins e a Decomposição Empírica de Modo para detecção do complexo QRS e classificação das arritmias mostraram-se satisfatórios tanto para classificação quanto para o processamento.

Referências

- [1] Huang, Norden E., et al. "The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis." *Proceedings of the Royal Society of London. Series A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 454.1971 (1998): 903-995.
- [2] Pan, J., & Tompkins, W. J. (1985). A real-time QRS detection algorithm. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 32(3), 230-236.
- [3] Barroso, L. C., et al. "Aplicação do Algoritmo de Pan-Tompkins para a Detecção Automática do Complexo QRS". V Congresso Brasileiro de Eletromiografia e Cinesiologia e X Simpósio de Engenharia Biomédica (2018): 957-958.
- [4] Zago, Gabriel Tozatto, et al. "Utilização do método da decomposição de modo empírico para remoção de ruído em sinais eletrocardiograma." *Revista Ifes Ciência-ISSN 2359-4799* 1.1 (2015).
- [5] Pal, Saurabh, and Madhuchhanda Mitra. "Empirical mode decomposition based ECG enhancement and QRS detection." *Computers in biology and medicine* 42.1 (2012): 83-92.
- [6] Slimane, Zine-Eddine Hadj, and Amine Naït-Ali. "QRS complex detection using Empirical Mode Decomposition." *Digital Signal Processing* 20.4 (2010): 1221-1228.
- [7] Flandrin, Patrick, Gabriel Rilling, and Paulo Goncalves. "Empirical mode decomposition as a filter bank." *IEEE signal processing letters* 11.2 (2004): 112-114.