

Análise computacional da variabilidade da frequência cardíaca a partir de sinais eletrocardiográficos

Santos PU*, Bock EGP*

**Instituto Federal de São Paulo – Campus São Paulo, São Paulo, Brasil.*

Resumo. Este estudo visa caracterizar o comportamento da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) a partir do exame eletrocardiograma em indivíduos com ritmo sinusal normal e em arritmias cardíacas, os quais foram extraídos do banco de dados PhysioNet, visto que por meio da VFC é possível determinar indiretamente o comportamento do sistema nervoso autônomo no coração, o qual é responsável por garantir a manutenção da homeostasia corporal. Neste estudo todos os ensaios foram realizados na ferramenta MATLAB® (R2018, MathWorks Inc., Natick), onde se desenvolveu um algoritmo para a detecção da variabilidade da frequência cardíaca, rMSSD e pNN50, dado sua relação com a atividade do sistema nervoso parassimpático, por meio da detecção dos picos R e seus momentos de ocorrência, a partir da decomposição dos sinais com a transformada de wavelet. Os dados encontrados vão de encontro aos valores obtidos na literatura e sugere-se que em trabalhos futuros, as detecções da VFC indiquem doenças em potencial ou já existentes nos indivíduos de maneira autônoma, por meio de um treinamento de inteligência artificial, assim como embarcar este código em diferentes tecnologias.

Palavras-chave. *Variabilidade da frequência cardíaca, Sistema nervosa parassimpático, transformada de wavelet, PhysioNet, decomposição do eletrocardiograma.*

Introdução. Dados advindos da Organização Panamericana de Saúde (2020) (1) indicam que as doenças cardiovasculares foram responsáveis por cerca de 9 milhões de óbitos em 2019, e que provocam um alto índice de morbidade e mortalidade no mundo. Entre os métodos clínicos mais empregados para avaliar a saúde do sistema cardiovascular se encontra o eletrocardiograma (ECG), principalmente por ser um exame não invasivo e de fácil acesso nas redes hospitalares.

O eletrocardiograma trata-se do registro da atividade elétrica do coração e suas ondas normais são compostas da seguinte maneira:

- **Onda P:** Representa o potencial elétrico gerado a partir da despolarização dos átrios antes de sua contração;
- **Complexo QRS:** Se trata do potencial elétrico gerado a partir dos ventrículos antes de sua contração;

- **Onda T:** Causada pelo potencial gerado a partir da repolarização dos ventrículos (2).

Dado que a manutenção da homeostasia depende da constante modificação da frequência cardíaca, tendo o coração influências diretas do sistema nervoso autônomo (SNA), alterações na pressão arterial podem ocorrer devido a mudanças da frequência cardíaca, débito sistólico e resistência periférica, sendo que estas três variáveis são fortemente influenciadas pelo SNA, tanto pela divisão simpática como pela parassimpática (3,4). Por meio da variabilidade da frequência cardíaca (VFC), pode-se acompanhar de maneira indireta as influências do SNA sobre o nodo sinusal e os parâmetros rMSSD (*Root mean square of the successive NN interval difference*) e pNN50 (*Normal-to-normal NN intervals whose difference exceeds 50 milliseconds*) implicam em uma avaliação do comportamento do sistema nervoso parassimpático.

Estudos indicam que alterações nos padrões da VFC correspondem a um indicador sensível e antecipado de comprometimentos na saúde e que há uma correlação negativa com o envelhecimento, ou seja, à medida que o indivíduo envelhece a resposta dos sistemas cardiovascular e nervoso parassimpático têm uma menor variação (5,6).

Para o cálculo dos índices estatísticos, no domínio do tempo, a partir dos intervalos RR, considera-se as para o rMSSD e pNN50 as equações 1 e 2, respectivamente:

$$rMSSD = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} (RR_{i+1} - RR_i)^2} \quad (1)$$

$$pNN50 = \frac{|\Delta RR_i| > 50 \text{ ms}}{N-1} \quad (2)$$

É cada vez mais crescente o uso e a implementação de tecnologias tais como o 5G, na área clínica, assim como avanços no processamento de sinais biológicos, e nos recursos implementados na bioengenharia, os quais têm permitido diversas possibilidades de procedimentos diagnósticos não invasivos, por esses motivos criou-se o conceito de saúde 4.0 (4,9). Uma vez instaurada essa nova tendência, surgiu a necessidade da elaboração de novos algoritmos os quais devem ser criados e validados para auxiliar neste processo que se encontra em curso, os quais poderão ser embarcados em tecnologias como biossensores, assim como da interconexão entre diversos dispositivos, os quais possuem como objetivo melhorar o atendimento da equipe da saúde aos pacientes, as práticas de negócios hospitalares e auxiliarão na implementação de tecnologias direcionadas ao serviço clínico (7-10).

Nesta pesquisa, extraiu-se os exames de eletrocardiografia do PhysioNet que se trata de um fórum *online* para disseminação e troca de registro de sinais biomédicos em um *software* de código aberto, o qual oferece um banco de dados de diversas patologias (11). Todas análises ocorreram a partir dos bancos de dados “ritmo sinusal normal do MIT-BIH”, o qual contém dados como 18

registros de ECG de longo prazo de indivíduos que não apresentaram arritmias significativas, e do “Banco de dados de arritmia supraventricular do MIT-BIH”, sendo que neste banco de dados há incluso 78 registros de ECG. A partir dessas duas categorias clínicas, foram selecionados 6 exames de cada banco de dados, totalizando assim 12 amostras avaliadas.

Neste trabalho foi desenvolvido um algoritmo no MATLAB[®] (R2018, MathWorks Inc., Natick), o qual captura os sinais advindos do ECG e posteriormente obtém os picos R, por meio da transformada de wavelet. A partir desses picos detectados e os momentos em que eles ocorrerem é possível apresentar os resultados da variabilidade cardíaca, da frequência cardíaca e os exames desses indivíduos em uma interface ao usuário.

A transformada de wavelet (WT), consiste de um método matemático que decompõe séries temporais não estacionárias, em diferentes escalas de tempo, o que permite uma interpretação da variabilidade temporal. Com base na natureza não estacionária e de mudanças repentinas nos picos de sinais do ECG, utiliza-se a WT para eliminar interferências de ruído da rede elétrica, interferências mioelétricas, que variam de 5 à 2000 Hz causada por atividade humanas e tensões musculares, entre outros fatores como o desvio de linha de base causado pelo movimento do eletrodo e pela sudorese corporal.

Matematicamente há diferentes tipos de WT, neste estudo utilizou-se a Transformação Wavelet Discreta de Sobreposição Máxima (MODWT), da família Symlet, por sua similaridade com o padrão do ECG, figura 1.

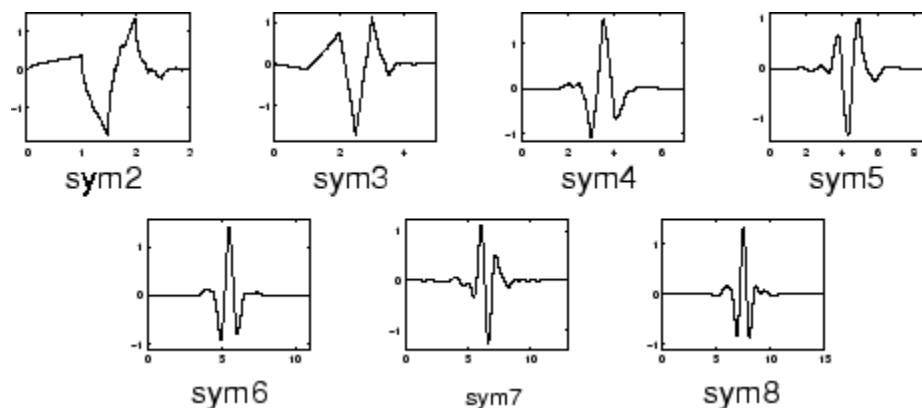


Figura 1. Família de Wavelet Symlet. Fonte: Patro e Rajesh (12).

Após o realce conferido pela MODWT, submete-se os coeficientes dessa transformada para encontrar-se os picos R do exame de eletrocardiografia (13,14).

Métodos e desenvolvimento. O código desenvolvido ao longo desse trabalho, avalia os exames de ECG advindos do banco de dados PhysioNet, tal como descrito no tópico de introdução.



Em linhas gerais o algoritmo realiza as seguintes etapas:

1. Solicitação do arquivo a ser trabalhado;
2. Carrega-se os registros do ECG;
3. Usuário insere a frequência da amostragem;
4. Realiza-se a decomposição dos coeficientes da transformada de wavelet;
5. O programa encontra os picos R;
6. Inicia-se o cálculo dos batimentos por minuto;
7. Se obtém os valores para determinação da variabilidade da frequência cardíaca;
8. Calcula-se o rMSSD;
9. Calcula-se o pNN50;
10. Os gráficos e informações são exibidas ao usuário em uma nova janela.

Para cada amostra utilizada do PhysioNet, deve-se realizar o *download* de dois arquivos, o de extensão “.mat”, que é o exame ECG e o de extensão “.info”, o qual trará informações relevantes, incluindo a frequência de amostragem que será inserida pelo usuário. Uma vez realizada todas as etapas, o algoritmo utilizará a transformada de wavelet, encontrada no MATLAB como função *sym4*, que tornou possível obter os valores necessários para se determinar os pontos exatos em que estão os picos R e o momento em que ocorreram. Por meio desse parâmetro é possível realizar o cálculo da frequência cardíaca, do rMSSD e do pNN50, tal como visto na relação das equações 1 e 2.

Resultados e Discussões. A fim de se identificar diferenças existentes entre as amostras, assim como validar a ferramenta testou-se 6 amostras de cada banco de dados distintos, sendo eles: ritmo sinusal normal, e arritmia supraventricular. Ao localizar os pontos exatos em que se encontram os picos R, foi possível calcular a variabilidade da frequência cardíaca, através das relações de rMSSD e pNN50, na sequência os gráficos do sinal bruto do ECG e dos picos R detectados foram plotados em uma interface criada, juntamente com os valores da frequência cardíaca e os índices da VFC, encontrados na amostra, como pode ser observado na imagem 2.

A tabela 1, apresenta os valores obtidos das amostras nas duas condições clínicas avaliadas. Sendo possível acompanhar os valores da frequência cardíaca, dos parâmetros rMSSD e pNN50, assim como os valores de suas médias e desvios padrões.

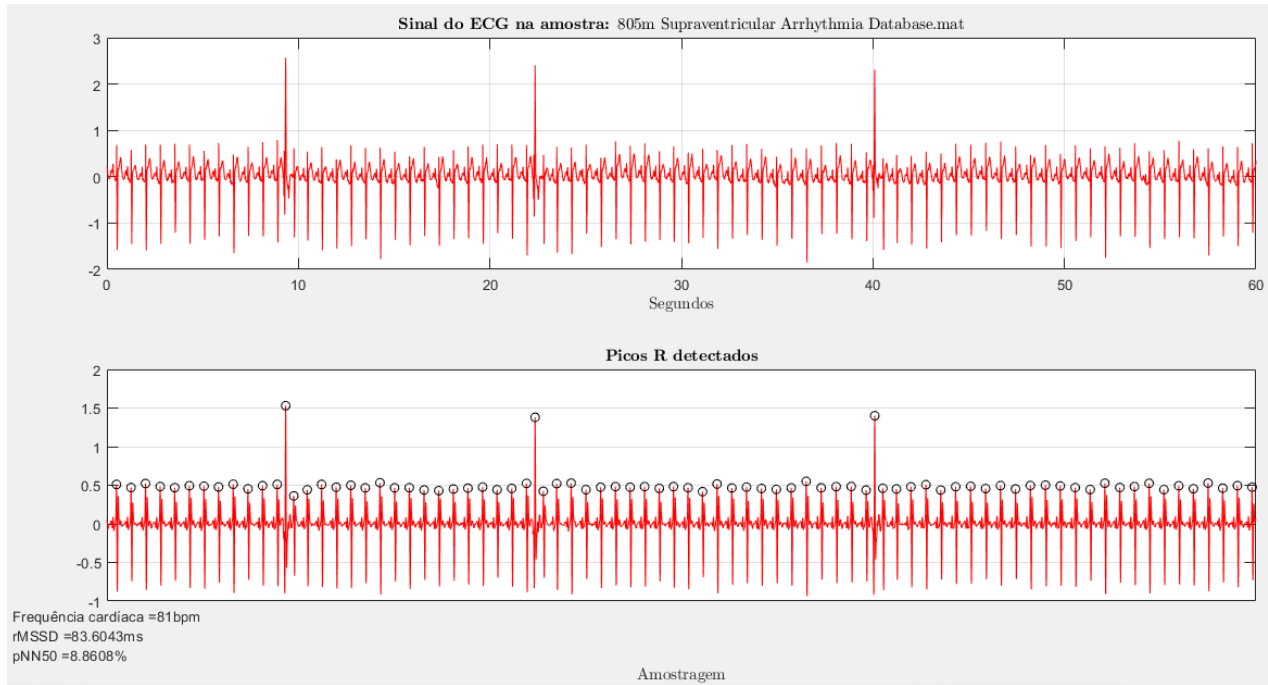


Figura 2. Representação do sinal de eletrocardiograma com arritmia supraventricular. E seus picos R detectados. Fonte: O autor (2022).

Tabela 1. Valores obtidos das diferentes amostras em duas diferentes condições clínicas.

Condição clínica	Amostra	Frequência cardíaca (bpm)	rMSSD (ms)	rMSSD (ms) - Média e desvio padrão	pNN50 (%)	pNN50 (%) - Média e desvio padrão
Ritmo sinusal normal	16265m	95	13,24	31,82±33,25	0,00	4,28±8,32
	16272m	63	94,73		4,92	
	16273m	94	17,09		0,00	
	16420m	95	13,91		0,00	
	16483m	97	8,37		0,00	
	16539m	79	43,55		20,78	
Arritmia supraventricular	800m	60	71,75	130,80±86,41	12,07	29,84±30,64
	801m	103	300,05		62,38	
	802m	62	103,60		8,33	
	804m	88	141,15		75,58	
	805m	81	83,60		8,86	
	807m	78	84,67		11,84	

Dessa maneira é possível observar que indivíduos com um ritmo sinusal normal, apresentam valores de rMSSD, assim como pNN50 menores do que quando comparados a arritmias supraventriculares, o que evidencia uma alteração do sistema nervoso parassimpático, tal como descrito na literatura. Um ponto de destaque é o valor apresentado na amostra 801m, que possui

um valor de rMSSD igual a 300,05 ms, o que demonstra uma alteração do sistema cardiovascular em realizar a modulação autonômica cardíaca. Quanto ao padrão pNN50, estes também tiveram um incremento quando observado os valores de exames apresentando arritmia supraventricular, evidenciando-se assim que o paciente detentor de uma patologia apresenta os seus parâmetros fisiológicos com alterações marcantes no sistema parassimpático.

Conclusão. Os valores obtidos por meio do algoritmo elaborado demonstram que a transformada de wavelet, quando aplicadas no MATLAB são eficazes na determinação dos índices estatísticos rMSSD e pNN50, os quais indicam que em casos de arritmia supraventricular, assim como encontrado em outras fontes da literatura, o indivíduo apresenta valores fora dos padrões de indivíduos com ritmo sinusal normal. Dessa maneira comprova-se que há uma perda da função fisiológica do sistema nervoso autônomo parassimpático, sob a atividade do sistema cardíaco.

Uma vantagem identificada ao realizar o algoritmo, utilizando a transformada de wavelet é que seu padrão pode ser encontrado ao longo de todo exame de eletrocardiografia, dessa maneira é possível determinar o pico R em diferentes condições clínicas. Uma vez que este algoritmo está validado, agora é possível embarcar esses conhecimentos em equipamentos diversos, seja com um propósito comercial, ou acadêmico.

Etapas futuras, apontam para estudos que utilizem de inteligência artificial e uma nova linguagem para tornar a interface mais intuitiva ao usuário final e uma vez que o algoritmo tenha um caráter preditivo, será possível impactar positivamente na detecção de doenças antes mesmo dela estar em fases mais avançadas.

Referências.

- (1) Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS). OMS revela principais causas de morte e incapacidade em todo o mundo entre 2000 e 2019. Disponível em: <https://www.paho.org/pt/noticias/9-12-2020-oms-revela-principais-causasmorte-e-incapacidade-em-todo-mundo-entre-2000-e>. Acesso em: 22/11/2021.
- (2) Hall JE. Guyton & Hall. Fundamentos de Fisiologia. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.
- (3) Curi R; Araújo Filho JP. Fisiologia Básica, 2ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2017.
- (4) Kawaguchi LYA, Nascimento ACP, Lima MS, Frigo L, Júnior ARP, Tierra Criollo CJ, Lopes-Martins RAB. Caracterização da variabilidade da frequência cardíaca e sensibilidade do barorreflexo em indivíduos sedentários e atletas do sexo masculino. Rev Bras Med Esporte, vol 13, n.4, Jul/Ago 2007.
- (5) Park SB, Lee BC, Jeong KS. STANDARDIZED TESTS OF HEART RATE VARIABILITY FOR AUTONOMIC FUNCTION TESTS IN HEALTHY KOREANS, International Journal of Neuroscience, v. 117, n. 12, p. 1707–1717, 2007.



- (6) Vanderlei LCM, et al. Noções básicas de variabilidade da frequência cardíaca e sua aplicabilidade clínica. *Brazilian Journal of Cardiovascular Surgery*, v. 24, p. 205-217, 2009.
- (7) Santos, PU. Algoritmo de avaliação da variabilidade da frequência cardíaca a partir do registro detectado do eletrocardiograma. Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, 2022.
- (8) Barboza M., et al, Ventricular Assist Device in Health 4.0 Context, in: CAMARINHA-MATOS, L M. et al (Orgs.). *Technological Innovation for Life Improvement*, Cham: Springer International Publishing, 2020, v. 577, p. 347– 354.
- (9) Paulo MF, Bock EGP. Algoritmo de detecção da fibrilação atrial a partir dos Intervalos rr. XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Biomédica – CBEB, 2014.
- (10) Dos Santos BJ, Nogueira HS. Biosensors. In: *Bioengineering and Biomaterials in Ventricular Assist Devices*. CRC Press, 2021.
- (11) Moody GB, Mark RG, Goldberger AL. PhysioNet: A web-based resource for the study of physiologic signals. *IEEE Engineering in medicine and biology*, May/June 2001.
- (12) Patro KK, Rajesh KP. A Novel Frequency-Time Based Approach for the Detection of Characteristic Waves in Electrocardiogram Signal, in: SATAPATHY, Suresh Chandra et al (Orgs.), *Microelectronics, Electromagnetics and Telecommunications*, New Delhi: Springer India, 2016, v. 372, p. 57–67.
- (13) Dautov CP, Ozerdem MS. Wavelet transform and signal denoising using Wavelet method, in: 2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU), Izmir, Turkey: IEEE, 2018.
- (14) Manzan WA. The utilization of Wavelets transforms in the extraction of characteristics and patterns recognition in ECG signals. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2006.

ORCID dos autores

Paulo Urbano dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9873-9297>

Eduardo Guy Perpétuo Bock

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3962-9052>