

# O estudo de redes complexas aplicado em séries temporais de variabilidade da frequência cardíaca

Gilberto A. Costa

Universidade Brasil, São Paulo, SP

Regina C. Coelho, Carlos M. G. de Godoy, Elbert E. N. Macau

UNIFESP, São José dos Campos, SP

Laurita dos Santos<sup>1</sup>

Universidade Brasil, São Paulo, SP

A variabilidade da frequência cardíaca (VFC) é definida pela variação entre os intervalos RR presentes no eletrocardiograma (ECG), sendo que cada intervalo RR é a distância entre duas ondas R sucessivas. Pode ser considerada uma importante medida para verificar a alteração do sistema nervoso autônomo (SNA) e a homeostase de um indivíduo [9]. A VFC pode ser aplicada em avaliações da evolução de doenças ou mesmo na sua prevenção. Essa análise também contribui na comparação de sistemas semelhantes, por exemplo, grupos de séries temporais de recém-nascidos prematuros e recém-nascidos a termo (aqueles que nasceram a partir de 38 semanas de gestação), ou ainda para compreensão do comportamento de doenças cardíacas e sua relação com a fisiologia e anatomia do coração.

Para análise das séries temporais de intervalos RR há diversos métodos a serem aplicados. É de senso comum que métodos matemáticos fornecem informações sobre o fenômeno fisiológico, ligado ao SNA (simpático ou parassimpático), a partir do sinal biológico obtido. Usualmente, para análise são usados diversos métodos: no domínio temporal [6], no domínio da frequência [5] e dinâmica não linear [3, 10]. Métodos no domínio do tempo e da frequência refletem a magnitude da flutuação da frequência cardíaca e sua análise permite avaliar o risco de ocorrência de eventos adversos ligados à disfunção vagal cardíaca [8].

As características não lineares dos sistemas fisiológicos e como suas interações influenciam uns aos outros motivam a aplicação de métodos não lineares para análise de séries temporais de intervalos RR. Métodos não lineares, como análise de quantificação de recorrência, mapa de primeiro retorno, quantificação de entropia de Shannon, dimensão de correlação, métodos de dinâmica simbólica, análise de reversibilidade temporal e redes fisiológicas são bons candidatos para análise de VFC. Todos esses métodos permitem associações entre os sinais biológicos e sua fenomenologia no organismo, fornecendo informações sobre a dinâmica dos sistemas. Os métodos não lineares diferem da análise linear convencional da VFC pois avaliam outras características do sinal, como propriedades de correlação não linear [2]. Algumas vantagens podem ser relatadas no uso de abordagens não lineares para análise de VFC, como imprevisibilidade e complexidade da série temporal [1]. Nesse contexto de métodos não lineares, propomos neste trabalho a aplicação de redes complexas para caracterização de séries temporais de intervalos RR de indivíduos saudáveis e indivíduos não saudáveis.

Dentre as diversas metodologias de mapeamento de uma série temporal em uma rede complexa, este trabalho tem por objetivo estudar as redes complexas ordinais [7] que consideram a sequência temporal da série. Esse requisito é relevante para as séries temporais de intervalos RR. Nesse

---

<sup>1</sup>lauritas9@gmail.com

contexto, uma série temporal de intervalos RR é codificada em sequências simbólicas considerando a adjacência do intervalo RR analisado. Os nodos da rede representam os símbolos (ou palavras formadas) e as arestas direcionadas representam a adjacência dos nodos, podendo ou não considerar *self loops*, conforme descrito em [4]. Essa metodologia é aplicada em séries temporais de intervalos RR de indivíduos cardiopatas e em indivíduos normais. Os resultados preliminares demonstram que é possível diferenciar esses grupos e que os diferentes parâmetros usados no mapeamento das séries temporais em redes complexas são sensíveis para detectar diferenças entre as séries. Essas diferenças podem estar relacionadas ao comprometimento do SNA nos indivíduos analisados.

## Agradecimentos

L. dos Santos agradece à Fapesp (projeto número 2018/03517-8) pelo apoio financeiro.

## References

- [1] Bartsch, R. P. and Liu, K. K. L. and Bashan, A. and Ivanov, P. C. Network Physiology: How Organ Systems Dynamically Interact. *PLoS ONE*, 10(11):e0142143, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0142143
- [2] Beckers, F. and Verheyden, B. and Aubert, A. E. Aging and nonlinear heart rate control in a healthy population. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 290:H2560–H2570, 2006.
- [3] Belfort, R. A. U. and Treccossi, S. P. C. and Silva, J. L. F. and Pillat, V. G. and Freita, C. B. N. and dos Santos, L. Extended Central Tendency Measure and difference plot for heart rate variability analysis, *Medical Engineering & Physics*, 74:33–40, 2019. DOI: 10.1016/j.medengphy.2019.09.024.
- [4] McCullough, M. and Small, M. and Iu, H. H. C. and Stemler, T. Multiscale ordinal network analysis of human cardiac dynamics. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 375:20160292, 2017.
- [5] Oliveira, R. and Costa, M. V. da and Pedro, R. and Polito, M. and Avelar, A. and Cyrino, E. and Nakamura, F. Acute cardiac autonomic responses after about of resistance exercise. *Science & Sports*, 27:357–364, 2012. DOI: 10.1016/j.scispo.2011.09.002.
- [6] Ramirez-Rojas, A. and Flores-Marquez, E. Order parameter analysis of seismicity of the Mexican Pacific coast. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 392(10):2507–2512, 2013. DOI: 10.1016/j.physa.2013.01.034
- [7] Small, M. Complex networks from time series: Capturing dynamics. *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, 2509–2512, 2013.
- [8] Suzuki, M. and Hiroshi, T. and Aoyama, T. and Tanaka, M. and Ishii, H. and Kisohara, M. and Iizuka, N. and Murohara, T. and Hayano, J. Nonlinear measures of heart rate variability and mortality risk in hemodialysis patients. *Clin J Am Soc Nephrol*, 7(9):1454–1460, 2012. DOI: 10.2215/CJN.09430911.
- [9] Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing Electrophysiology. Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use. *Circulation*, 93:1043–1065, 1996.
- [10] Trulla, L. L. and Giulliani, A. and Zbilut, J. P. and JR., C. L. W. Recurrence quantification analysis of the logistic equation with transients. *Physics Letters A*, 223:255–260, 1996. DOI: 10.1016/S0375-9601(96)00741-4.