

A Evolução da Análise de Sinais Biomédicos no Auxílio ao Diagnóstico Clínico

Argentina Leite

Luís Torres Pereira

Sandra Ricardo

Resumo

A análise de sinais biomédicos desempenha, atualmente, um papel fundamental no auxílio ao diagnóstico clínico. Os avanços científicos multiplicam-se a um ritmo frenético numa sociedade cada vez mais consciente e desejosa de soluções para os problemas de saúde. A exigência de uma constante atualização dos meios de diagnóstico clínico impõe-se por forma a dar resposta às exigências do mundo atual.

Este trabalho pretende dar uma perspetiva histórica dos avanços no estudo dos sinais biomédicos e refletir a sua importância na sociedade.

Palavras-chave: Sinais Biomédicos; diagnóstico clínico; avanços

Abstract

Currently the biomedical signal analysis plays a fundamental role in helping clinical diagnosis. Scientific advances multiply at a frenetic pace in a society that is increasingly aware of and desirous of solutions to health problems. The need for constant updating of the means of clinical diagnosis is necessary to meet the demands of the world today.

This work intends to give a historical perspective of advances in the biomedical signal study and to reflect its importance in society.

Keywords: Biomedical Signal analysis, clinical diagnosis, scientific advances

1. INTRODUÇÃO

A medicina moderna está indissociavelmente interligada com a evolução tecnológica que começou a ocorrer ainda no século XIX. Já no século XX, principalmente após a 2ª guerra mundial, despoletou-se uma onda crescente de avanços tecnológicos, subsequentes ao desenvolvimento da eletrónica e da computação. Esta revolução científica refletiu-se na área da medicina, que beneficiou em larga medida, com equipamentos cada vez melhores e com técnicas de análise de dados cada vez mais fiáveis.

Em particular, no campo da cardiologia, é correntemente aceite que o estudo da variabilidade de sinais cardiovasculares é suscetível de várias aplicações clínicas, constituindo um meio de diagnóstico não invasivo, muito importante, para avaliar o estado do paciente.

Neste trabalho consideramos a evolução da análise de Sinais Biomédicos, com uma breve descrição histórica da eletrocardiografia (secção 2); abordaremos o desenvolvimento de dispositivos de auxílio clínico (secção 3) e algumas considerações relativas à análise da variabilidade da frequência cardíaca, assim como

a sua importância para o auxílio ao diagnóstico clínico (secção 4). Terminamos com alguns comentários finais (secção 5).

2. EVOLUÇÃO DA ELETROCARDIOGRAFIA

Nos primórdios da tecnologia médica moderna encontram-se contribuições bastante relevantes ainda no século XIX. Nesta altura, ocorreram desenvolvimentos cruciais no *design* de instrumentos sensíveis, capazes de detetar pequenas correntes elétricas no coração. De destacar a invenção do eletrómetro capilar de Lippman (Figura 1), em 1873, pelo físico francês Gabriel Lippmann (1845-1921). Tratava-se de um tubo de vidro fino, com uma coluna de mercúrio sob ácido sulfúrico. As variações dos potenciais elétricos provocavam o deslocamento do menisco de mercúrio que era observado através de um microscópio¹.

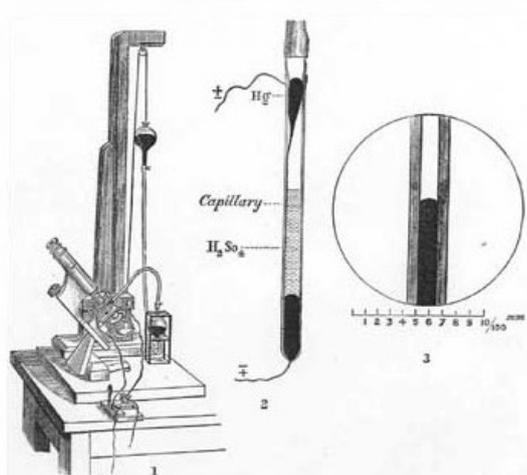


Figura 1: Eletrómetro capilar de Lippman².

Em 1887, o fisiologista inglês Augustus Desiré Waller (1856-1922) registou as tensões geradas pela atividade cardíaca, usando o eletrómetro capilar de Lippman. Nas suas experiências recorreu ao seu cachorro “Jimmy”, que permanecia quieto com as patas submersas em soluções salinas (Figura 2). A técnica usada foi apresentada no *Primeiro Congresso Internacional de Fisiologistas*, em Basel, Suíça, em 1889, tendo influenciado e estimulado outros investigadores da época.

¹ https://en.wikipedia.org/wiki/Lippmann_electrometer (consultado a 29 de julho de 2019).

² *Ibidem*

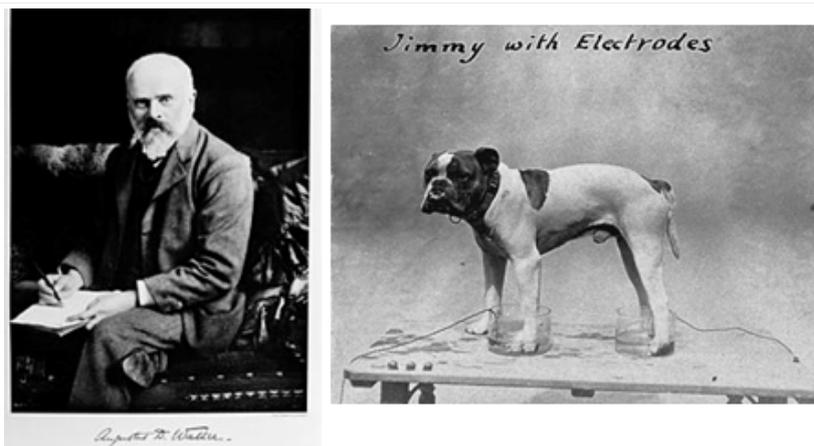


Figura 2: Augustus Desiré Waller e as experiências com o cachorro “Jimmy”³.

Algumas melhorias foram sendo introduzidas no eletrômetro capilar e, em 1895, o médico neerlandês Willem Einthoven (1860-1927) (Figura 3) identificou cinco deflexões precedendo cada batimento cardíaco, que denominou com as letras P, Q, R, S e T.



Figura 3: Willem Einthoven⁴.

Em 1902, Einthoven registrou o primeiro eletrocardiograma, usando para o efeito um galvanômetro⁵ de corda (Figura 4).

³ https://en.wikipedia.org/wiki/Augustus_Desir%C3%A9_Waller (consultado a 29 de julho de 2019).

⁴ https://pt.wikipedia.org/wiki/Willem_Einthoven (consultado a 29 de julho de 2019).

⁵ O galvanômetro é um instrumento que pode medir correntes elétricas de baixa intensidade, ou a diferença de potencial elétrico entre dois pontos. Foi inventado pelo engenheiro francês Clement Ader, em 1897, para uso em linhas telegráficas submarinas. Einthoven melhorou e modificou o galvanômetro, tendo usado o dispositivo melhorado para registrar o primeiro eletrocardiograma, em 1902.

⁶ Rodrigo T. Giffoni & Rosália M. Torres, "Breve história da eletrocardiografia," *Rev Med Minas Gerais* 20, n. 2 (2010): 263-270 <http://rmmg.org/artigo/detalhes/323>.

⁷ <https://ecglibrary.com/ecghist.html> (consultado a 29 de julho de 2019).

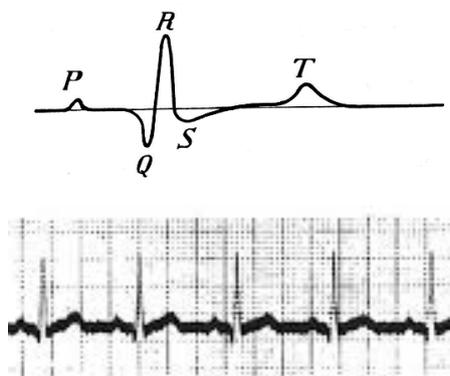


Figura 4: Registro obtido através do galvanômetro de corda⁸.

Em 1905, Einthoven registou o primeiro eletrocardiograma à distância, transmitindo por linha telefônica os impulsos elétricos do paciente, do hospital para seu laboratório, a 1,5 km de distância, gerando a Telemedicina. Este investigador foi agraciado com o *Prémio Nobel de Fisiologia ou Medicina* em 1924, e é considerado o pai da eletrocardiografia.

Sucederam-se avanços crescentes no registro, cada vez mais rigoroso, de eletrocardiogramas e no seu desenvolvimento como instrumento de diagnóstico. Esta evolução contribuiu para definir a cardiologia como uma especialidade na área da medicina.

3. Desenvolvimento de Dispositivos Médicos

O desenvolvimento da eletrônica e da computação, após a segunda guerra mundial, desencadeou uma revolução científica na medicina.

Em 1950, o engenheiro elétrico canadiano John Hopps (1919-1998) (Figura 5) deu um passo gigantesco ao aperceber-se que um impulso elétrico podia estimular uma contração coordenada do músculo cardíaco e que estímulos repetitivos permitiam que isso ocorresse por um período prolongado.

⁸ https://en.ecgpedia.org/wiki/A_Concise_History_of_the_ECG#bibkey_Wood (consultado a 29 de julho de 2019).



Figura 5: John Hopps⁹.

Com base nesta observação, Hopps e os seus colaboradores Wilfred Bigelow (1913-2005) e John C. Callaghan (1923-2004), ambos cirurgiões cardíacos canadianos, trabalharam no sentido de projetar e construir o primeiro protótipo de *pacemaker*. Tratava-se de um aparelho semelhante a um rádio, com 30 cm de comprimento, com tubos de vácuo para gerar batimentos e era alimentado por uma corrente doméstica de 60 Hz (Figura 6)¹⁰¹¹¹².



Figura 6: Pacemaker original projetado por Hopps¹³.

O trabalho levado a cabo por Hopps conduziu ao desenvolvimento do *pacemaker* implantável. Com o aparecimento dos circuitos de transístores¹⁴, os tubos de vácuo originais foram substituídos por transístores, o que permitiu que o *pacemaker* se tornasse pequeno o suficiente para ser implantado no corpo. O primeiro *pacemaker* implantável (Figura 7) foi desenvolvido pelo engenheiro sueco Rune Elmqvist

⁹ Foto cedida pelo *Canadian Science and Technology museum*.

¹⁰ John A. Hopps, "The Development of the Pacemaker," *Pacing and Clinical Electrophysiology*, Volume 4, Issue 1 (1981): 106-108.

¹¹ Tarun Mittal, "Pacemakers - a journey through the years," *Indian J Thorac Cardiovasc Sur*, Volume 21, Issue 3 (2005): 236-249.

¹² John C Callaghan & Wilfred G Bigelow "An electrical artificial pacemaker for standstill of the heart." *Annals of surgery*, volume 134, nº1 (1951): 8-17.

¹³ Foto cedida pelo National Research Council of Canada.

¹⁴ Transístor - dispositivo semiconductor usado para amplificar ou trocar sinais eletrônicos e potência elétrica (fonte: <https://pt.wikipedia.org/wiki/Trans%C3%ADstor> - consultado a 29 de julho de 2019). Foi inventado, em 1947, pelos físicos John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley.

(1906-1996) e implantado num doente, em 1958, pelo cirurgião cardíaco Ake Senning (1915-2000), no *Karolinska University Hospital* em Stockholm, na Suécia



Figura 7: O primeiro *pacemaker* eletrónico implantado num ser humano, desenvolvido por Elmqvist em colaboração com Senning¹⁵.

O desenvolvimento acentuado da eletrofisiologia cardiovascular englobou também os registos de *holter* e o eletrocardiograma de alta resolução¹⁶. O monitor *holter*¹⁷, ou *monitoração eletrocardiográfica ambulatória*, foi introduzida ainda em 1949, pelo biofísico norte-americano Norman Holter (1914-1983) (Figura 8).



Figura 8: Norman Holter¹⁸.

A colaboração de Holter com Bruce Del Mar (1913-) estimulou o desenvolvimento de uma indústria de diagnóstico cada vez mais sofisticado. Os dispositivos foram ficando cada vez mais leves e compactos e

¹⁵ <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3232561/> (consultado a 29 de julho de 2019).

¹⁶ W. Bruce Fye, "A history of the origin, evolution and impact of electrocardiography," *Am J Cardiol*, volume 73, Issue 13, (1994): 937-49.

¹⁷ Holter – dispositivo portátil que faz a monitorização do ritmo cardíaco durante a atividade diária normal do indivíduo, habitualmente por um período de 24 horas, cujo objetivo é avaliar a presença de arritmias cardíacas e/ou outras anomalias relacionadas com o funcionamento do coração. (<https://www.infopedia.pt/dicionarios/lingua-portuguesa/holter>)

¹⁸ <https://americanhistory.si.edu/blog/2011/11/at-the-heart-of-the-invention-the-development-of-the-holter-monitor-1.html> (consultado a 29 de julho de 2019).

os avanços tecnológicos permitiram que a gravação dos registos eletrocardiográficos fossem cada vez mais viáveis¹⁹.

Versões digitais dos equipamentos eletrônicos, até então analógicos, surgem na década de 70, constituindo um avanço significativo na fidelidade dos registos.

4. Variabilidade da Frequência Cardíaca: Aplicação Clínica

A análise de sinais biomédicos desempenha, atualmente, um papel fundamental no auxílio ao diagnóstico clínico. Em particular, a análise da variabilidade da frequência cardíaca (VFC) reveste-se de enorme importância, uma vez que permite aceder ao mecanismo de controlo do sistema cardiovascular, constituindo um meio não invasivo para estudar a sua integridade, em vários estados de doença²⁰. O eletrocardiograma é um dos meios de diagnóstico de mais baixo custo e de uso clínico mais generalizado. Na Figura 9 representa-se um sinal eletrocardiográfico e as características mais relevantes em cada ciclo: onda P, complexo QRS, onda T e intervalo RR.

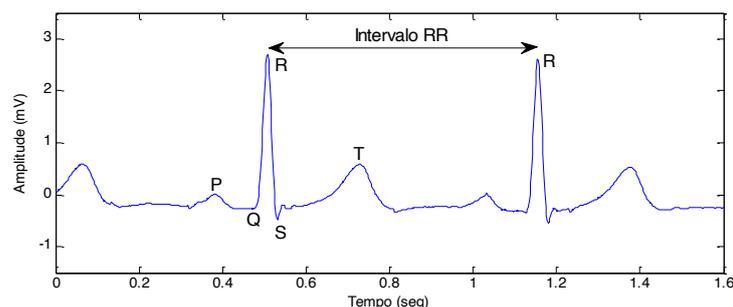


Figura 9: Representação do sinal eletrocardiográfico.

A sequência dos intervalos de tempo (RR) entre batimentos sucessivos no eletrocardiograma, isto é, o *tacograma* (Figura 10), é o sinal cardiovascular mais simples para a caracterização da VFC.

¹⁹ Harold L. Kennedy, "The History, Science, and Innovation of Holter Technology," *Annals of Noninvasive Electrocardiology*, 11(1), (2006): 85-94.

²⁰ Marvin L. Apple, Ronald D. Berger, J. Philip Saul, Joseph M. Smith, Richard J. Cohen, "Beat to beat variability in cardiovascular variables: noise or music?," *J Am Coll Cardiol*, 14 (1989), 1139-1148.

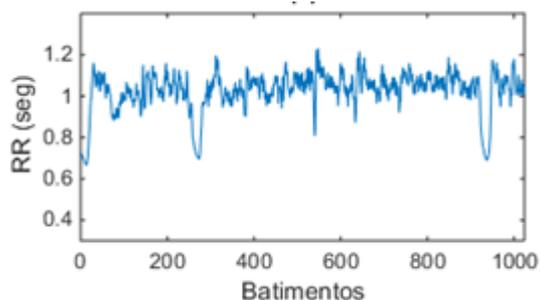


Figura 10: Tacograma de um indivíduo saudável (com 1024 batimentos).

A importância clínica do estudo da VFC foi inicialmente reconhecida em 1965, quando Hon e Lee²¹ notaram que a monitorização fetal com diminuição da VFC é um identificador de eventual sofrimento do feto. Durante a década de 70, Ewing²² e os seus colaboradores observaram que a redução na VFC pode também ser usada para detetar neuropatia autonómica na fase assintomática em indivíduos diabéticos. Em 1977, Wolf²³ e os seus colaboradores foram os primeiros a observarem que a redução na VFC pode ser usada como um prognóstico de risco após enfarte agudo do miocárdio. Em 1981, Akselrod²⁴ e colaboradores introduziram a análise no domínio da frequência na VFC, para avaliar quantitativamente o controlo do sistema cardiovascular. Até esta altura, era apenas utilizada a análise no domínio do tempo. A característica de memória longa em registos de VFC foi inicialmente observada em 1982, por Kobayashi e Musha²⁵. Esta característica permite detetar alterações nos registos de VFC, mais eficientemente do que os parâmetros tradicionalmente usados, quer no domínio do tempo quer no domínio da frequência. No final da década de 80, a importância clínica da VFC tornou-se evidente, quando se confirmou que uma VFC reduzida é um fator de prognóstico importante de mortalidade e de complicações de arritmia em doentes após enfarte agudo do miocárdio²⁶. Continuamente tem-se estabelecido o interesse no estudo da VFC em outras doenças

²¹ Edward H. Hon, S. T. Lee. "Electronic evaluations of the fetal heart rate patterns preceding fetal death, further observations," *Am J Obstet Gynec*, 87 (1965): 814-26

²² David J. Ewing, Christopher N. Martin, Robert J. Young, Basil F. Clarke, "The value of cardiovascular autonomic function tests: 10 years experience in diabetes," *Diabetic Care*, 8 (1985): 491-8.

²³ Michael M. Wolf, George A. Varigos, David Hunt, J. Greame Sloman, "Sinus arrhythmia in acute myocardial infarction," *Med J Australia*, 2 (1978): 52-3.

²⁴ Solange Akserod, David Gordon, F. Andrew Ubel, Daniel C. Shannon, A. Clifford Barger, Richard J. Cohen. "Power spectrum analysis of heart rate fluctuation: a quantitative probe of beat to beat cardiovascular control," *Science*, 213 (1981): 220-2.

²⁵ Masanori Kobayashi, Toshimitsu Musha, "1/f fluctuation of heartbeat period," *IEEE Transactions Biomedical Engineering*, 29 (1982): 456-457.

²⁶ Robert E. Kleiger, J. Philip Miller, J. Thomas Bigger, Arthur J. Moss, and the Multicenter Post-Infarction Research Group, "Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction," *Am J Cardiol*, 59 (1987): 256-62.

cardiovasculares e não cardiovasculares, tais como hipertensão, tetraplegia e comportamento após transplante cardíaco²⁷²⁸.

O estudo dos registos de VFC obtidos com monitores de *holter* é fundamental como meio auxiliar de diagnóstico e estratificação de risco. Os registos de VFC de *holter* são tipicamente longos, correspondendo a registos de 24 horas e permitem identificar patologias, nomeadamente arritmias malignas as quais não são detetadas nos registos de rotina do ECG.

Na Figura 11 representam-se registos de *holter* típicos de um indivíduo saudável (a) e de um doente após transplante cardíaco (b). Como seria de esperar, observa-se que a média dos intervalos RR apresenta valores mais elevados para o indivíduo saudável e que este registo apresenta também uma maior variabilidade.

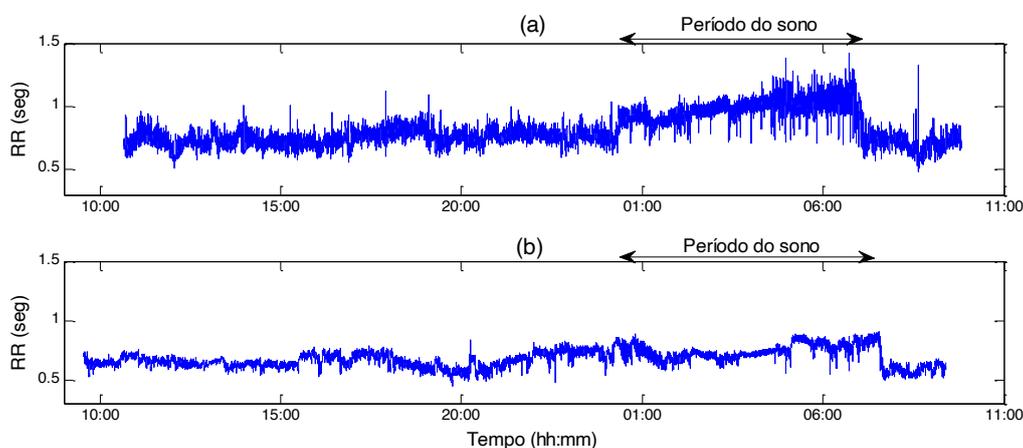


Figura 11: Tacogramas de dois registos de *holter* de 24 horas, referentes a um indivíduo saudável (a) e a um doente após transplante cardíaco (b).

Atualmente, estes registos podem ser adquiridos usando, por exemplo, o dispositivo *VitalJacket*²⁹ *Holter*, que é o primeiro dispositivo médico que conjuga a mais recente tecnologia têxtil com soluções avançadas de Engenharia Biomédica (Figura 12). Pode ser utilizado até 72 horas em contínuo, permitindo aos médicos realizar um diagnóstico mais correto e assertivo de possíveis problemas cardíacos.

²⁷ European Society of Cardiology/North American Society of Pacing Electrophysiology Task Force, "Heart rate variability: standards of measurement, physiological interpretation and clinical use," *Circulation*, 93 (1996): 1043-1065.

²⁸ Argentina Leite, Maria Eduarda Silva, Ana Paula Rocha, "Análise da variabilidade da frequência cardíaca em indivíduos saudáveis, doentes com insuficiência cardíaca e doentes transplantados," *Motricidade*, 9 (2013): 65-63.

²⁹ <http://www.vitaljacket.com/pt/vitaljacket-holter/> (consultado a 29 de julho de 2019)



Figura 12: *VitalJacket Holter*, monitor cardíaco incorporado numa *t-shirt*.

5. Comentários Finais

A análise de sinais biomédicos desempenha um papel fundamental no auxílio ao diagnóstico clínico. Muito se evoluiu nos dois últimos séculos, em especial após a segunda guerra mundial, com uma explosão no desenvolvimento tecnológico e científico, que naturalmente teve repercussões na medicina.

Na sociedade atual, num contexto de crescimento constante das inovações tecnológicas na saúde, que em particular têm contribuído para o aumento da esperança de vida, é natural que novos caminhos se vão abrindo na medicina. Os desafios sucedem-se quer a nível tecnológico, quer a nível de exigências do ser humano, abrindo portas para áreas promissoras a colaborarem na medicina, como por exemplo, a inteligência artificial que permitirá um apoio ao diagnóstico mais preciso.

SOBRE OS AUTORES:

Argentina Leite

Departamento de Matemática

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal,

C-BER INESC TEC

tinucha@utad.pt

Luís Torres Pereira

Departamento de Engenharias

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal,

C-BER INESC TEC

tpereira@utad.pt

Sandra Ricardo

Departamento de Matemática

Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal,

ISR-UC

(sricardo@utad.pt)

Área dos Editores (não preencher)

Artigo recebido em 26 de setembro de 2012

Aceito para publicação em 17 de novembro de 2012