

## TESTE DE ROBUSTEZ DE MODELAGEM DE QRS EM SINAIS SINTÉTICOS DE ECG CONTAMINADOS POR RUÍDO

Délcio Aguiar José Barreto<sup>1</sup>, Fernando André Cossengue Caiavi<sup>2</sup>, Julião Alberto Langa<sup>3</sup>, João Paulo do Vale Madeiro<sup>4</sup>

**Resumo:** O eletrocardiograma é considerado padrão ouro para o diagnóstico não invasivo de arritmias e distúrbios de condução. A extração automática de parâmetros do ECG é iniciada com a segmentação de suas ondas características. O presente trabalho objetiva a geração e modelagem de sinais ECG sintéticos com diferentes morfologias de suas ondas características submetidas a diferentes condições fisiológicas com ruídos de baixa frequência. O estudo foi feito tomando como referência a base de dados de sinais de ECG MIT-BIH Arrhythmia database da Physionet. Implementou-se computacionalmente um simulador de sinais ECG sintéticos a partir de modelos dinâmicos com análise de variação de um conjunto de parâmetros. Modelou-se matematicamente o complexo QRS em sinais sintéticos a partir de três funções matemáticas: função Gaussiana, função Chapéu de Mexicano e combinação de duas funções de densidade de probabilidade de Rayleigh. Procedeu-se a inserção de ruídos senoidais de baixa frequência: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 Hz, considerando a frequência de amostragem de 256 Hz. Os resultados obtidos indicam que com a inserção dos ruídos de baixa frequência, observa-se o aumento de desvio-padrão do erro RMS normalizado entre as morfologias de QRS e os modelos matemáticos, mas por outro lado, o ranking entre os modelos ou *kernels* mais apropriados é mantido.

Palavras-chave: sinal ECG. complexo QRS. modelagem matemática. ruído.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, milhões de pessoas são afetadas anualmente por doenças cardiovasculares tornando-se imprescindível o advento de técnicas computacionais para auxílio ao diagnóstico médico. Notabiliza-se que a melhor solução para mitigação de problemas cardíacos é a prevenção ou a detecção prematura com a utilização do eletrocardiograma (ECG).

---

<sup>1</sup> Universidade da Integração Internacional a Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: delciobarreto@hotmail.com.

<sup>2</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: fernandocaiavi@hotmail.com.

<sup>3</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: julitolanga@gmail.com.

<sup>4</sup> Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável, e-mail: jpaulo.vale@unilab.edu.br

Com o desenvolvimento tecnológico e a crescente evolução da Engenharia aplicada à Medicina tornou-se possível o desenvolvimento de dispositivos e soluções para análises de diversos sinais vitais. O melhoramento de técnicas de processamento dos sinais ECG relatou em uma melhoria significativa na detecção de doenças cardiovasculares. Entretanto, os equipamentos que monitoram e armazenam o sinal ECG estão sujeitos a inúmeras interferências como ruídos e drifts que contaminam o biopotencial do ECG sob a análise (ARDHAPURKAR et al., 2012).

Diante desta problemática, o presente trabalho objetiva a análise da robustez na modelagem do complexo QRS em sinais ECG sintéticos com diferentes morfologias de suas ondas características submetidas a diferentes condições fisiológicas com ênfase no ruído de baixa frequência.

## **METODOLOGIA**

Para o desenvolvimento do trabalho foi feita uma revisão bibliográfica a partir do estudo referente à fisiologia cardíaca básica e de interpretação clínica de aspectos morfológicos das ondas características do sinal ECG.

Posteriormente, implementou-se computacionalmente um simulador de sinais ECG sintéticos a partir de modelos dinâmicos, com análise da variação de um conjunto de parâmetros: frequência de amostragem, duração do sinal, amplitude de ruído gaussiano, média e desvio-padrão de frequência cardíaca, relação entre componentes de frequência LF (Low-Frequency) e HF (High-Frequency) do sinal de variabilidade da frequência cardíaca, duração, amplitude e morfologia do complexo QRS (MCSHARRY et al., 2003).

Procedeu-se a análise de modelagem matemática do complexo QRS em sinais sintéticos a partir de três funções matemáticas: função Gaussiana, função Chapéu-Mexicano (segunda derivada da função Gaussiana), combinação de duas funções de densidade de probabilidade de Rayleigh (MADEIRO, 2017).

Determinou-se a média e o desvio-padrão do erro RMS entre realizações de diferentes tipos de morfologias de QRS e cada uma das três funções matemáticas testadas e em seguida, comparou-se a evolução do erro RMS entre realizações de diferentes tipos de morfologias de QRS e cada uma das três funções matemáticas testadas, ajustando-se os correspondentes parâmetros para obtenção de modelos ótimos (modelos casados), procedendo-se à inserção de ruído senoidal de baixa frequência: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1 Hz, considerando-se a frequência de amostragem de 256 Hz.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através dos ajustes dos parâmetros dos modelos dinâmicos referidos no trabalho de Mcsharry et al., 2003, possibilitou-se a geração de sinais ECG com diferentes morfologias de suas ondas características e variação de intervalos entre as respectivas ondas. Constatou-se que o gerador proposto possibilita a simulação de diferentes condições fisiológicas, tais como ritmos cardíacos acelerados e desacelerados, inversão de polaridade de ondas, alargamento e distanciamento entre as ondas, além da incidência de ruídos e artefatos.

Nos testes computacionais, foi aplicado algoritmo de detecção de QRS, com base no trabalho de Oliveira, 2007, alcançando-se taxas de detecção acima de 99%.

Com a inserção de ruído senoidal de baixa frequência, observaram-se diferentes tendências de acordo com o aspecto morfológico do modelo matemático utilizado.

Geraram-se 60 amostras das morfologias de QRS do tipo qrSr' e RSr', comumente encontradas na literatura (NEMIRKO e LUGOVAYA, 2005). Para cada morfologia, identificou-se a evolução do erro RMS (média e desvio-padrão) e da posição no ranking para cada modelo, conforme ilustrado nas Tabela 1 e 2.

Tabela 1: Ranking de menor erro RMS (melhor desempenho) para os três modelos matemáticos propostos com morfologia qrSr'.

Frequência-Ruído	Modelo 1 – 3°	Modelo 2 – 1°	Modelo 3 – 2°
0HZ	25,14% ± 0,67%	12,49% ± 0,65%	22,40% ± 3,32%
0.2HZ	26,82% ± 22,93%	20,19% ± 21,10%	25,40% ± 23,04%
0.4HZ	28,02% ± 23,66%	22,29% ± 20,91%	26,01% ± 23,35%
0.6HZ	28,04% ± 23,76%	22,84% ± 20,19%	25,15% ± 23,52%
0.8HZ	28,35% ± 23,23%	23,29% ± 19,34%	24,24% ± 23,22%
1.0HZ	27,23% ± 23,14%	22,50% ± 18,48%	23,21% ± 24,41%

Tabela 2: Ranking de menor erro RMS (melhor desempenho) para os três modelos matemáticos propostos com morfologia RSr'.

Frequência-Ruído	Modelo 1 – 3°	Modelo 2 – 2°	Modelo 3 – 1°
0HZ	86,46% ± 3,59%	49,88% ± 2,45%	12,31% ± 3,80%
0.2HZ	55,81% ± 19,87%	36,74% ± 16,07%	23,33% ± 22,70%
0.4HZ	55,25% ± 20,25%	36,51% ± 17,18%	23,54% ± 22,81%
0.6HZ	53,75% ± 21,00%	35,35% ± 18,53%	23,37% ± 21,37%
0.8HZ	53,94% ± 22,45%	35,72% ± 21,15%	25,30% ± 20,96%
1.0HZ	51,35% ± 28,68%	33,81% ± 25,77%	21,48% ± 17,25%

Da análise computacional realizada, observa-se que embora o aumento da frequência do ruído senoidal impacte no desvio-padrão do erro RMS normalizado, o ranking entre os modelos matemáticos vencedores é mantido.

## CONCLUSÕES

Através deste trabalho é possível compreender a influência do ruído na contaminação do biopotencial do ECG sob análise, bem como evidenciou-se que a sua mitigação é fundamental para melhor monitoramento e armazenamento dos sinais vitais.

Pelos resultados obtidos, conclui-se que os modelos matemáticos função Gaussiana, Chapéu de Mexicano e distribuição de probabilidade de Rayleigh representam alternativas robustas no processo de modelagem do complexo QRS de sinais reais, mesmo na presença de ruído.

## AGRADECIMENTOS

À UNILAB e ao Programa CAPP pelo apoio na realização deste projeto.

## REFERÊNCIAS

Ardhapurkar, S.; Manthalkar, R.; [Gajfre](#), S. **ECG Denoising by Modeling Wavelet Sub-Band Coefficients using Kernel Density Estimation**. JInf Process Syst, 8(4)(2012).669-684;

Madeiro, J. P. V.; Santos, E. M. B. E.; Cortez, Paulo César; Felix, J. H. S.; F. S. Schlindwein. **Evaluating Gaussian and Rayleigh-Based Mathematical Models for T and P-waves in ECG**. IEEE Latin American Transactions, v. 15, p. 843-853, 2017.

McSharry, P. E., Clifford, G.D., Tarassenko, L., Smith, L. A. **Adynamical model for generating synthetic electrocardiogram signals**. IEEE Trans. Biomed.Eng.50 (3) (2003) 289 – 294;

Oliveira, F. I. **Transformada de Hilbert sobre bases de wavelets: detecção de complexos QRS**. 2007. 210f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Teleinformática) – Departamento de Engenharia de Teleinformática, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Lugovaya, T. S. **Biometric human identification based on electrocardiogram**. [Master's thesis] Faculty of Computing Technologies and Informatics, Electrotechnical University "LETI", Saint-Petersburg, Russian Federation; June 2005.