

Avaliação do desempenho de métodos de detecção da Resposta Auditiva de Estado Estável

Gustavo Ott, Sérgio José Melo de Almeida, Márcio Holsbach Costa

Resumo—Neste trabalho, é apresentada a análise de desempenho dos testes estatísticos F, coerência de fase (PC), magnitude quadrática da coerência (MSC) e T^2 circular (T2) para detecção da Resposta Auditiva de Estado Estável (RAEE). Foram analisados os níveis de acurácia dos detectores através do método *receiver operating characteristic*. A RAEE foi modelada computacionalmente pelas componentes: resposta senoidal e ruído gerado pelo método de Burg. Os testes MSC e T2 apresentaram desempenhos ligeiramente melhores que os demais, porém a diferença não foi suficiente para considerar como significativo o impacto da escolha do método estatístico de detecção nos níveis de acurácia.

Palavras-Chave—EEG, potenciais evocados auditivos, teoria de detecção, curva ROC.

Abstract—In this paper, we present the performance analysis of four statistical detection tests for the Auditory Steady-State Response (ASSR): F test, phase coherence (PC), magnitude-squared coherence (MSC) and T^2 circular (T2). The detector's accuracy levels were analyzed by the receiver operating characteristic method. The ASSR was modeled by a sinusoidal response and a noise component generated by the Burg method. The MSC and T2 tests presented slightly better performances than the others, however the difference was not enough to consider the impact of the choice of the statistical detection method in the levels of accuracy as significant.

Keywords—EEG, auditory evoked potentials, detection theory, receiver operating characteristic.

I. INTRODUÇÃO

A avaliação do nível de audição de um indivíduo é um importante parâmetro de investigação clínica, dada a importância da percepção de sons no desenvolvimento infantil e na socialização de adultos. Os últimos avanços nesta área baseiam-se na detecção das Respostas Auditivas de Estado Estável (RAEE), com as quais é possível estimar de forma objetiva os limiares auditivos de um paciente.

O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação do desempenho de quatro métodos estatísticos utilizados na detecção da RAEE em um *setup* teórico de simulação de tal resposta. Propõe-se mostrar resultados que apontem para qual dos métodos de detecção e em quais condições de simulação são obtidos os maiores níveis da métrica de acurácia de detecção ao longo do processamento da RAEE.

As contribuições deste trabalho são: (i) extensão da análise da acurácia de detecção de RAEE para mais métodos estatísticos em relação a [1], em que somente o teste F foi

Gustavo Ott, Sérgio José Melo de Almeida, Centro de Ciências Sociais e Tecnológicas, Universidade Católica de Pelotas, Pelotas-RS, Brasil, Márcio Holsbach Costa, Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC, Brasil, E-mails: gustavo.ott@gmail.com, sergio.almeida@ucpel.edu.br, costa@eel.ufsc.br.

considerado; e (ii) determinação de um *setup* computacional de simulação e detecção da RAEE, possibilitando o ajuste de suas características e a avaliação dos métodos de detecção.

II. RESPOSTA AUDITIVA DE ESTADO ESTÁVEL

A Resposta Auditiva de Estado Estável é uma resposta elétrica periódica gerada pelo cérebro, a qual é evocada por um sinal acústico contínuo que varia periodicamente, tipicamente um tom modulado [2]. Esta resposta é constituída por componentes em frequência que têm a mesma periodicidade do estímulo e permanecem constantes em termos de amplitude e fase durante a apresentação do estímulo [3].

A. Métodos de estimulação

Os potenciais cerebrais eliciados pela estimulação da cóclea no ouvido interno estão relacionados a estímulos acústicos que podem ser categorizados como específicos ou inespecíficos em componentes de frequência [4].

A modulação simultânea em amplitude (AM) e em frequência (FM) de um tom senoidal configuram um processo referido como modulação mista (MM) e constitui um tipo de estímulo específico em frequência que evoca a RAEE [5]. A componente senoidal do estímulo correspondente à região estimulada da cóclea se refere à frequência portadora (CF, *carrier frequency*) de uma modulação AM e é modulada pela frequência moduladora (MF, *modulation frequency*), a qual corresponde à taxa de apresentação do estímulo. A modulação FM é associada à AM para que se estimule uma região ligeiramente maior da cóclea, o que tende a gerar respostas cerebrais de maior amplitude [6].

A expressão que define um sinal de estímulo $s_{MM}(t)$ de modulação MM, com frequência de modulação f_m em Hz, frequência portadora f_c em Hz, grau de modulação AM m_a ($0\% \leq m_a \leq 100\%$) e grau de modulação FM m_f ($0\% \leq m_f \leq 100\%$) é dada pela Equação 1, como descrito por [6]. Nesta equação, t denota o tempo em segundos, A denota a amplitude do estímulo em unidade arbitrária e ϕ é a diferença de fase entre as modulações AM e FM.

B. Relação estímulo-resposta

As constituintes em frequência de um estímulo AM estão presentes nas frequências CF e $CF \pm MF$. Devido às propriedades fisiológicas das células ciliadas presentes na cóclea, o estímulo é processado através de uma retificação compressiva de meia-onda, gerando uma componente extra na frequência MF no nervo auditivo [7]. O sinal deste nervo é

$$s_{MM}(t) = A \underbrace{\left[\frac{1 + m_a \sin(2\pi f_m t)}{\left(1 + \frac{m_a^2}{2}\right)^{1/2}} \right]}_{AM} \cdot \underbrace{\sin \left\{ 2\pi f_c t \left[\frac{m_f f_c}{2f_m} \sin(2\pi f_m t + \phi) \right] \right\}}_{FM} \quad (1)$$

transmitido pela via auditiva neuronal até o córtex cerebral que, por sua vez, gera a RAEE. Portanto, a atividade cerebral captada como um eletroencefalograma (EEG) em que uma RAEE está presente estará sincronizada com a taxa de apresentação do estímulo acústico [8].

C. Processamento da resposta

Da apresentação do estímulo até a detecção da RAEE, os seguintes passos descritos em [9] são adotados para o processamento da resposta:

- Apresenta-se um estímulo acústico capaz de gerar RAEE ao mesmo tempo que um sinal de EEG do paciente é captado e digitalizado;
- Trechos de sinal sincronizados com a taxa de apresentação do estímulo, chamados épocas, são separados;
- Um conjunto de épocas consecutivas formam um *sweep*;
- Aos *Sweeps* adquiridos consecutivamente é aplicado um processo de média síncrona, chamado promediação, a fim de reduzir a potência do ruído com as RAEE ao longo do tempo;
- O sinal promediado é transformado para o domínio da frequência através da Transformada Rápida de Fourier (FFT);
- A componente em frequência MF no vetor de FFT é submetida a um teste de detecção estatístico, que indica a presença ou ausência da RAEE.

D. Métodos de detecção

Os métodos de detecção da RAEE baseiam-se na análise de medidas sucessivas de vetores de FFT relacionados à frequência MF ou a ruído de fundo do sinal de EEG (frequências no entorno da resposta). O teste de hipótese estatística para detecção da RAEE consiste na definição de um nível de significância p que define valores críticos para as variáveis aleatórias medidas nos testes estatísticos. A hipótese nula H_0 é definida como a ausência de sinal da RAEE relacionada ao nível de significância p .

A seguir são descritos os métodos de detecção estatística da RAEE avaliados neste trabalho, cujas características são descritas com mais detalhes em [10].

1) *Teste F*: Baseia-se na estimativa da relação sinal-ruído da RAEE, obtida pela comparação entre a potência do sinal de resposta da frequência de estímulo a_s^2 , onde s corresponde ao índice da frequência MF na FFT do sinal promediado, e a potência das componentes adjacentes a_i^2 , onde i corresponde a índices da FFT do sinal promediado. Considerando N frequências adjacentes abaixo e N frequências adjacentes acima da frequência de resposta, a razão F é calculada pela Equação 2.

$$F = 2N \frac{a_s^2}{\sum_{\substack{i=s-N \\ i \neq s}}^{i=s+N} a_i^2} \quad (2)$$

2) *Coerência de fase*: O método de detecção por coerência de fase (PC ou *phase coherence*) baseia-se na análise da medida do atraso de fase da resposta na frequência MF. Se a RAEE está presente no sinal de EEG captado, então sua fase em relação ao estímulo permanecerá constante ao longo do tempo; se as medidas de fase são aleatórias, então a resposta de RAEE é inexistente ou não consegue ser distinguida do ruído de fundo do EEG. O método PC utiliza uma medida chamada coerência de fase ao quadrado (PC^2), que varia de 0 (significando uma baixa coerência de fase, ou seja, uma medida randômica) a 1 (significando uma alta coerência de fase) e é calculada por meio da Equação 3, onde N é o número de medidas sucessivas de fase e θ_i é a fase da i -ésima medida de fase para uma frequência MF específica [11].

$$PC^2 = \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \cos \theta_i \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sin \theta_i \right)^2 \quad (3)$$

3) *Teste T^2 de Hotelling circular*: É denotado por T_{circ}^2 e faz uso da distribuição de multivariáveis T^2 aplicada às medidas de média de componentes reais (\bar{x}) e imaginárias (\bar{y}) do vetor de FFT da RAEE [12]. O valor de T_{circ}^2 é determinado pela Equação 4, onde N é o número de medidas, $a_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$ é a amplitude e θ_i é a fase da i -ésima medida para uma frequência de resposta MF.

4) *Magnitude quadrática da coerência*: O método de detecção por magnitude quadrática da coerência (MSC ou *magnitude-squared coherence*) usa a informação de amplitude além das medidas de fase da frequência MF na RAEE [13]. O valor de MSC, denotado por γ^2 , é calculado através da Equação 5, onde N é o número de *sweeps*, $a_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$ é a amplitude e θ_i é a fase da i -ésima medida para uma determinada frequência. Este valor varia de 0 (ausência de sinal de resposta) até 1 (a ausência de ruído, *i.e.* somente RAEE).

Cabe salientar dois pontos acerca deste método: (i) o método MSC torna-se equivalente ao PC caso a informação de amplitude seja ignorada (*i.e.* $a_i = 1$) [7]; e (ii) os métodos MSC e T_{circ}^2 são equivalente, visto que o segundo é uma transformação algébrica do primeiro, com características estatísticas idênticas [14].

$$T_{\text{circ}}^2 = \frac{\left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_j \cos \theta_j \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_j \sin \theta_j \right)^2}{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N \left[\left(a_i \cos \theta_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_j \cos \theta_j \right)^2 + \left(a_i \sin \theta_i - \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N a_j \sin \theta_j \right)^2 \right]} \quad (4)$$

$$\gamma^2 = \frac{\left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \cos \theta_i \right)^2 + \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i \sin \theta_i \right)^2}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i^2} \quad (5)$$

III. MATERIAL E MÉTODOS

A. Setup experimental

O *setup* experimental implementado consiste em um *script* que, além de contemplar os passos de processamento da RAEE, inclui a modelagem desta resposta constituída pela componente relacionada ao estímulo e pelo ruído de fundo associado ao sinal de EEG. Na Figura 1 são mostrados os blocos que formam o *setup* experimental, a saber: modelo de geração da RAEE, composto por uma componente na frequência MF e por um ruído de EEG; processo de promediação do sinal de RAEE, de acordo com um período de sincronismo da resposta T_P ; cálculo da FFT do sinal promediado; e detecção estatística a partir da FFT do sinal promediado.

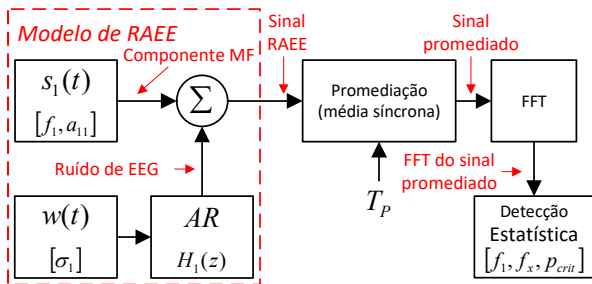


Fig. 1. Diagrama de blocos do *setup* experimental.

O modelo de RAEE é composto por dois sinais somados: (i) a parcela determinística do sinal correspondente à RAEE $s_1(t)$, modelada por uma senóide pura na MF $f_1 = f_m$ com amplitude a_1 , conforme mostrado na Equação 6; e (ii) a parcela aleatória decorrelacionada com a RAEE, obtida através de um processo auto-regressivo (AR) $H_1(z)$ cujos coeficientes e variância σ_1^2 do ruído de entrada $w(t)$ foram determinados pelo método de Burg [15] para seis sinais reais de EEG obtidos do banco de dados "EEG Motor Movement/Imagery Dataset" disponível no sistema Physionet [16]. Para evitar interferência na modelagem do EEG, a potência da componente interferente da rede elétrica nos sinais do banco de dados foi atenuada por meio de um filtro *notch* digital IIR de quarta ordem e banda de passagem (-3 dB) de 59 a 61 Hz. A escolha

do modelo de resposta como uma senóide pura se deu pela característica de retificação do estímulo sonoro da cóclea, o que gera uma resposta cerebral na frequência MF, sendo esta suposição também suportada por [17]. A escolha do método de Burg se deu pela sua característica de sempre resultar em sistemas auto-regressivos estáveis.

$$s_1(t) = a_1 \sin(2\pi f_1 t) \quad (6)$$

A extração de épocas e *sweeps*, o processo de promediação e o cálculo de FFT foram feitos conforme descrição anterior. A partir do vetor de FFT, foram realizadas as detecções da componente de RAEE f_1 e da componente de frequência sem resposta (controle) f_x , utilizada para avaliar a ocorrência de falsos positivos de detecção.

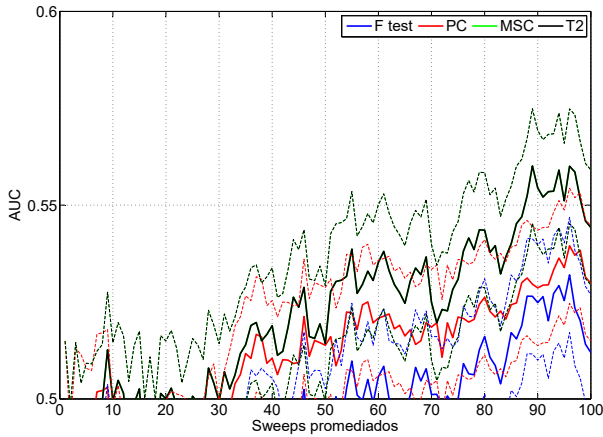
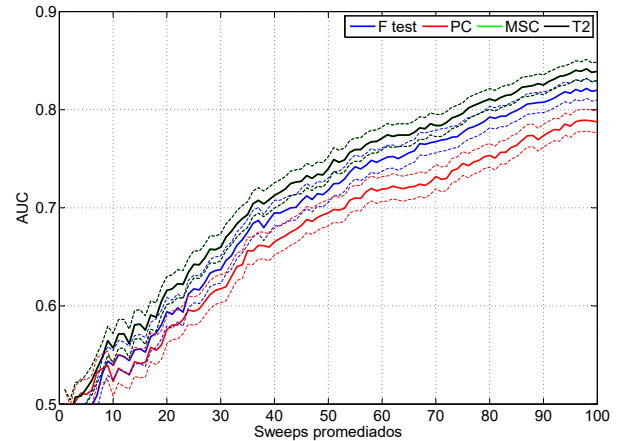
Os parâmetros de implementação do *setup* experimental foram baseados em [5]: frequência de amostragem de 1.000 Hz, período de época em 1,024 s (1.024 amostras por época), número de épocas para formar um *sweep* em 16 (período de $T_P = 16,384$ s ou 16.384 amostras por *sweep*). As frequências de modulação $f_1 = 80,078125$ Hz e de controle em $f_x = 75,1953125$ Hz foram obtidas por um processo de correção para um número inteiro de ciclos dentro de uma época considerando as frequências de 80 e 75 Hz, respectivamente.

A fim de simular condições na captação do sinal de RAEE, a amplitude da componente MF no modelo de RAEE foi variada a fim de se obter um conjunto de valores para a razão sinal-ruído (SNR). A SNR é calculada em decibéis (dB) através da Equação 7, onde P_r corresponde à potência média da resposta $s_1(t)$ e P_n à potência do ruído de fundo, estimada para cada um dos seis modelos AR para geração de ruído.

$$SNR(\text{dB}) = 10 \log \frac{P_r}{P_n} \quad (7)$$

B. Método de detecção

O método de detecção da RAEE compreendeu dois aspectos: (i) o teste de detecção estatística; e (ii) o critério para assumir que uma RAEE foi detectada com sucesso. Os testes estatísticos considerados neste trabalho são aqueles descritos anteriormente, sendo o teste F definido por $2N = 120$ bins adjacentes à frequência f_1 no vetor de FFT. Todos os testes consideram o parâmetro de significância estatística p_{crit} como sendo o limiar para rejeição da hipótese nula do teste estatístico. O critério utilizado para assumir que uma RAEE foi detectada com sucesso foi o de "três positivos consecutivos" (TPC), baseado na descrição de [1], em que uma detecção válida de RAEE é indicada quando a detecção positiva de três *sweeps* consecutivos ocorrer.

Fig. 2. Desempenho médio do detector de RAEE para SNR de -50 dB.Fig. 3. Desempenho médio do detector de RAEE para SNR de -40 dB.

C. Método de avaliação dos detectores

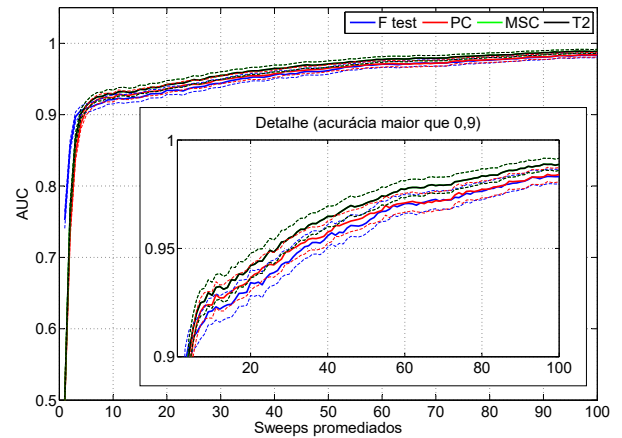
O método de avaliação dos detectores de RAEE consistiu na análise da curva *receiver operating characteristic* (ROC), formada pela detecção de positivos verdadeiros na frequência f_1 e falsos positivos em f_x , e na obtenção de valores de área sob a curva ROC (*area under the curve*, AUC) [18]. O valor da AUC é interpretado como sendo a acurácia de um detector [19], podendo assumir valores de 50%, correspondente a uma classificação ao acaso, até 100%, correspondente a uma classificação perfeita com ausência de falsos positivos. Baseados na análise da curva ROC em [1], os seguintes passos foram adotados neste trabalho:

- Estabeleceu-se 50 limiares $p_{crit} = p_i$ para os testes para detecção estatística da RAEE dentro da faixa de valores $10^{-15} \leq p_i \leq 0,9$;
- Para cada promediação da RAEE, obteve-se resultados do detector para 1.000 realizações do teste considerando cada limiar p_i , possibilitando a estimação da curva ROC com 50 pontos;
- Estimou-se o valor de área AUC pelo método numérico trapezoidal;
- Obteve-se um gráfico relacionando o número de promediações com o valor da AUC;
- Calculou-se os valores de desvio padrão (SD) dos pontos na curva de AUC com base no método descrito em [18].

Os valores de desvio padrão têm um papel importante na comparação de curvas AUC: uma diferença significativa (intervalo de significância de aproximadamente 95%) está presente quando regiões consistindo em dois desvios padrão ($\pm 2SD$) de duas curvas AUC não se sobrepõem [1].

IV. RESULTADOS

Os testes de detecção estatística foram avaliados considerando os modelos AR de ruído em quatro condições de SNR, -50 dB até -20 dB em passos de 10 dB, para 100 promediações da RAEE. A análise da curva AUC vs. tempo foi feita com base nas respostas do método TPC. Os resultados foram obtidos para cada condição de SNR pela média e SD das curvas AUC entre os seis modelos AR. Os resultados

Fig. 4. Desempenho médio do detector de RAEE para SNR de -30 dB.

de desempenho dos testes estatísticos em função do número de *sweeps* promediados são mostrados nas Figuras 2 até 5 (SNR crescente), nas quais as curvas sólidas correspondem aos valores de AUC dos testes F, PC, MSC e T^2 de Hotteling circular (T2) e as curvas tracejadas correspondem a $\pm 2SD$.

Para a condição de SNR em -50 dB (Figura 2) observa-se que todos os detectores apresentaram um desempenho próximo a uma detecção ao acaso para a condição. Pelo fato da SNR ser baixa, a acurácia obtida nos métodos ao longo das 100 promediações não superou os 55%, o que significa que não foi possível diferenciar significativamente a presença e ausência da RAEE.

Para SNR de -40 dB (Figura 3, somente os métodos T2, MSC e F ultrapassaram o nível de 80% de acurácia, com destaque aos dois primeiros cuja curva superou o teste F ao longo das 100 promediações processadas. Os testes T2 e MSC atingiram um nível de 83,9% ao final das 100 promediações processadas, enquanto os demais testes atingiram os níveis de 82,0% (F) e 78,8% (PC).

Para SNR de -30 dB (Figura 4 o método F apresentou níveis de acurácia cerca de 10,5% maiores em média nas quatro primeiras promediações, fato que se deve à menor potência do ruído e ao menor número de graus de liberdade

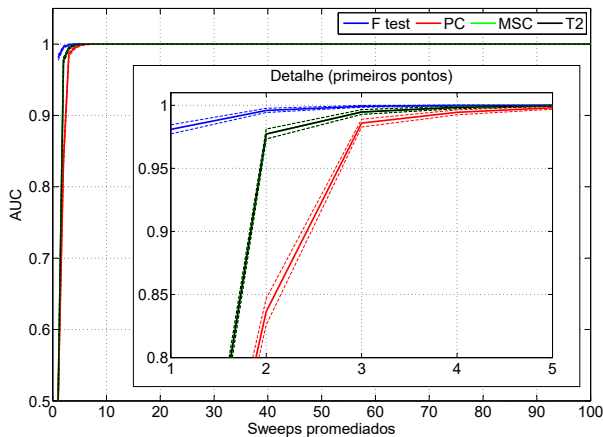


Fig. 5. Desempenho médio do detector de RAEE para SNR de -20 dB.

necessários para o cálculo da razão F, possibilitando detecções a partir do primeiro *sweep* adquirido. Porém, ao considerar as promediações seguintes em níveis acurácia acima de 90% (vide gráfico em detalhe na Figura 4), os métodos T2 e MSC apresentaram níveis de acurácia maiores em até 1,1% em relação ao F e em até 2,5% em relação ao PC. Os testes T2 e MSC atingiram um nível de 98,9% ao final das 100 promediações processadas, enquanto os demais testes atingiram os níveis de 98,4% (F) e 98,3% (PC).

Para SNR de -20 dB (Figura 5) todos os métodos atingiram níveis de acurácia de aproximadamente 100% para o processamento de 100 promediações. Porém, ao analisar o gráfico em detalhe da Figura 5, observa-se que nas primeiras promediações o teste F atinge níveis maiores de acurácia do que os demais testes, obtendo-se 99,6% no segundo *sweep*, sendo cerca 1,9%, 1,9% e 16,0% a mais do que os testes T2, MSC e PC, respectivamente.

V. CONCLUSÕES

Os resultados de desempenho dos testes estatísticos F, MSC, PC e T2 segundo o método ROC foram apresentados, evidenciando a métrica de acurácia dos mesmos para seis modelos de ruído de fundo em quatro condições de SNR. O resultado da curva média de AUC condiz com a tendência individual desta métrica para seis diferentes modelos AR considerados nesta análise, em que maiores níveis de acurácia são obtidos mais rapidamente para maiores níveis de SNR. Julgou-se suficiente o intervalo de SNR analisada, visto que valores inferiores ou superiores aos mostrados tendem a não diferir significativamente das curvas mostradas nos limites de intervalo do SNR.

Em geral, os testes T2 e MSC se destacaram em relação aos demais, especialmente nas condições de menor SNR. Entretanto, as diferenças nos níveis de acurácia para estes testes não foram significativamente superiores, girando em torno de algumas unidades percentuais. O teste F apresentou níveis significativos de incremento da curva AUC para as primeiras promediações, visto que os seus menores graus de liberdade em relação aos demais possibilitam a determinação antecipada da resposta de detecção. O uso do teste PC resultou

em piores desempenhos ou em situações que não houve diferença estatística com testes T2 e MSC.

Em suma, os resultados apresentados indicam que a escolha entre os testes estatísticos analisados não impacta significativamente na métrica de acurácia de detecção da RAEE para os níveis de SNR analisados. Por consequência, outros aspectos no método de detecção desta resposta devem ser investigados para a efetiva redução do tempo de detecção mantendo-se altos níveis percentuais de acurácia.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Van Dun, "Improving auditory steady-state response detection using multichannel EEG signal processing," PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, 2008.
- [2] F. W. Rickards, "The Auditory Steady-State Response: From the Beginning," in *The Auditory Steady-State Response: Generation, Recording, and Clinical Application*, 1st ed., G. Rance, Ed. San Diego, CA, USA: Plural Publishing Inc., 2008, ch. 1, pp. 1–10.
- [3] D. Regan, *Brain Electrophysiology: Evoked Potentials and Evoked Magnetic Fields in Science and Medicine*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 1989.
- [4] J. W. Hall, *New handbook of auditory evoked responses*, 1st ed. New York, New York, USA: Pearson, 2007.
- [5] M. S. John and T. Picton, "MASTER: a Windows program for recording multiple auditory steady-state responses," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 61, no. 2, pp. 125–150, feb 2000.
- [6] M. S. John, A. Dimitrijevic, P. Van Roon, and T. W. Picton, "Multiple auditory steady-state responses to AM and FM stimuli," *Audiology and Neuro-Otology*, vol. 6, no. 1, pp. 12–27, 2001.
- [7] A. Dimitrijevic and B. Cone, "Auditory Steady-State Response," in *Handbook of clinical audiology*, 7th ed., J. Katz, Ed. Philadelphia, PA, USA: Wolters Kluwer Health, 2015, ch. 15, pp. 267–294.
- [8] P. Korczak, J. Smart, R. Delgado, T. M. Strobel, and C. Bradford, "Auditory steady-state responses," *Journal of the American Academy of Audiology*, vol. 23, no. 3, pp. 146–70, 2012.
- [9] M. S. John and D. W. Purcell, "Introduction to Technical Principles of Auditory Steady-State Response Testing," in *The Auditory Steady-State Response: Generation, Recording, and Clinical Application*, 1st ed., G. Rance, Ed. Plural Publishing Inc., 2008, ch. 2, p. 335.
- [10] G. Ott, "Performance analysis of a framework for Auditory Steady-State Response detection," Master Thesis, Universidade Católica de Pelotas, 2017.
- [11] T. W. Picton, A. Dimitrijevic, M. S. John, and P. Van Roon, "The use of phase in the detection of auditory steady-state responses," *Clinical Neurophysiology*, vol. 112, no. 9, pp. 1698–1711, sep 2001.
- [12] J. D. Victor and J. Mast, "A new statistic for steady-state evoked potentials," *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, vol. 78, no. 5, pp. 378–388, 1991.
- [13] R. A. Dobie and M. J. Wilson, "Analysis of auditory evoked potentials by magnitude-squared coherence," *Ear and Hearing*, vol. 10, no. 1, pp. 2–13, 1989.
- [14] R. a. Dobie and M. J. Wilson, "Objective response detection in the frequency domain," *Electroencephalography and clinical neurophysiology*, vol. 88, no. 6, pp. 516–24, 1993.
- [15] J. P. Burg, "Maximum Entropy Spectral Analysis," in *Proceedings of the 37th Annual International SEG Meeting*, vol. 6, 1975, p. 0.
- [16] A. L. Goldberger, L. A. Amaral, L. Glass, J. M. Hausdorff, P. C. Ivanov, R. G. Mark, J. E. Mietus, G. B. Moody, C.-K. Peng, and H. E. Stanley, "Physiobank, physiotoolkit, and physionet components of a new research resource for complex physiologic signals," *Circulation*, vol. 101, no. 23, pp. e215—e220, 2000.
- [17] W. Biesmans, A. Bertrand, J. Wouters, and M. Moonen, "Optimal spatial filtering for auditory steady-state response detection using high-density EEG," in *2015 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 2015, pp. 857–861.
- [18] A. Hanley and J. McNeil, "The Meaning and Use of the Area under a Receiver Operating Characteristic (ROC) Curve," *Radiology*, vol. 143, pp. 29–36, 1982.
- [19] T. Fawcett, "An introduction to ROC analysis," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 8, pp. 861–874, 2006.