



DESENVOLVIMENTO DE UM DETECTOR OBJETIVO DE RESPOSTA UTILIZANDO APRENDIZADO DE MÁQUINA

Walter Batista Botelho Junior ⁽¹⁾, Felipe Antunes ⁽²⁾

(1)Walter Batista Botelho Junior, Bolsista (CNPq, FAPEMIG e CAPES), Engenharia Elétrica,
IFMG Campus Ipatinga, Ipatinga - MG; walt17b@gmail.com

(2)Orientador: Felipe Antunes, Campus Ipatinga, Ipatinga – MG; felipe.antunes@ifmg.edu.br

RESUMO

As respostas auditivas em regime permanente (ASSR) são potenciais bioelétricos evocados no cérebro em resposta a estímulos sonoros e podem ser utilizadas para estimar, de forma objetiva, os limiares auditivos de indivíduos que não conseguem ou não desejam cooperar em exames de audiometria convencional. A presença ou ausência de uma ASSR pode ser determinada estatisticamente por detectores objetivos de resposta (ORDs), por meio de testes de hipótese. Diversos ORDs são descritos na literatura, como a magnitude quadrática da coerência (MSC), a medida de componente síncrona (CSM), o teste F local, entre outros. O desempenho desses detectores está diretamente relacionado à relação sinal-ruído (SNR). Na ausência de resposta, a taxa de falsas detecções dos ORDs é igual ao nível de significância do teste, usualmente fixado em 0,01 ou 0,05. Este projeto tem como objetivo reunir um conjunto de ORDs e combiná-los por meio de técnicas de aprendizado de máquina, para desenvolver um detector com desempenho superior aos métodos já existentes na literatura.

Palavras-chave: Respostas Auditivas em Regime Permanente. Detectores Objetivos de Resposta. Aprendizado de Máquina

1 INTRODUÇÃO

Uma resposta auditiva em regime permanente (ASSR, do inglês Auditory Steady-State Response) é um potencial bioelétrico evocado no cérebro por estímulos sonoros repetidos em alta taxa, de modo que as respostas individuais a cada estímulo se sobreponham no tempo. Segundo Dolphin e Mountain (1992), a ASSR evocada por tons modulados em amplitude é caracterizada por um aumento de energia nas frequências moduladoras (e seus harmônicos) no espectro de potência do eletroencefalograma (EEG).

A presença ou ausência de uma ASSR pode ser determinada estatisticamente por meio de detectores objetivos de resposta (ORDs, do inglês Objective Response Detectors) aplicados aos sinais do EEG. Esses ORDs consistem em testes de hipótese estatística, nos quais a ausência de ASSR representa a hipótese nula. O teste é conduzido assumindo um nível de significância α , normalmente fixado em 0,01 ou 0,05. Diversos ORDs têm sido propostos na literatura, como a magnitude quadrática da coerência (MSC, do inglês Magnitude-Squared



Coherence), que utiliza tanto a amplitude quanto a fase do espectro (Dobie et al., 1989); a medida de componente síncrona (CSM, do inglês Component Synchrony Measure), baseada apenas na fase (Cebulla et al., 2006); e o teste F local, que considera apenas as magnitudes espectrais (Fisher, 1929), entre outros.

Nos sinais de EEG, além da ASSR, estão presentes os potenciais elétricos relacionados à atividade cerebral de fundo. Por isso, os ORDs devem ser capazes de detectar a presença das ASSRs mesmo em condições de baixa relação sinal-ruído (SNR). O desempenho dos ORDs é diretamente proporcional à SNR, definida como a razão entre a energia da ASSR e a energia do ruído de fundo do EEG. Assim, os ORDs mais eficazes são aqueles que mantêm alta probabilidade de detecção mesmo em baixas SNRs.

1.1 Justificativa

Segundo a Organização Mundial da Saúde, cerca de 430 milhões de pessoas no mundo sofrem de algum distúrbio auditivo, sendo aproximadamente 34 milhões delas crianças (OMS, 2021). Minimizar ou reverter os impactos dessa condição, seja por meio de tratamentos especializados, uso de próteses auditivas ou implantes cocleares, torna-se mais eficaz quanto mais precocemente o problema for identificado.

1.2 Objetivo

O objetivo deste projeto é investigar a possibilidade de desenvolver um novo ORD com desempenho superior aos métodos já propostos na literatura. Para isso, será realizada uma ampla revisão bibliográfica para identificar diferentes ORDs e, em seguida, esses detectores serão combinados por meio de técnicas de aprendizado de máquina. O projeto avaliará se tal combinação é capaz de produzir um ORD com características superiores às dos detectores individuais.

2.0 Desenvolvimento

2.1 Detectores Objetivos de resposta (ORD)

Os detectores objetivos de resposta (ORDs) são testes estatísticos que se baseiam na rejeição da hipótese nula, a qual assume a ausência de resposta auditiva. Desse modo, ORDs



como a MSC e CSM utilizam informações relacionadas a amplitude e fase respectivamente, isso privilegia o uso de um sinal completo de um EEG único para uma análise espectral. No entanto, nem todas as ORDs vão utilizar os mesmos parâmetros para o teste de hipótese, mas todas estão condicionadas a validação de seu valor crítico para a detecção de ASSRs no sinal (Miranda de Sá, 2004; Miranda de Sá e Felix, 2003). Para esse trabalho, foi considerado um nível de significância de 5% para a detecção de ASSRs. A detecção de uma ASSR ocorre quando o valor calculado da estatística ultrapassa o valor crítico pré-definido.

2.2 Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina (do inglês *machine learning*) é um subcampo da inteligência artificial voltado ao desenvolvimento de algoritmos capazes de identificar padrões a partir de dados, sem a necessidade de instruções explícitas para cada tarefa (Mitchell, 1997). Diversos modelos são aplicáveis a problemas de classificação, como os baseados em árvores de decisão, máquinas de vetores de suporte (Support Vector Machines – SVM), redes neurais artificiais, redes neurais profundas, redes convolucionais e modelos do tipo Long Short-Term Memory (LSTM)(Goodfellow, Bengio e Courville, 2016).

3.0 Resultados

O início do desenvolvimento de uma nova ORD, passou pelos testes do MSC em um sinal gerado no MATLAB. O sinal possui características definidas e busca ser análogo a um banco de dados com medições reais (Frequência Moduladora (f_m) = 37,59475 Hz e Frequência de Amostragem (F_s) = 601,5 Hz). Os testes mostraram, em primeira análise, coerentes com o que se espera à partir das ORDs propostas para algumas quantidades de amostras por janela (M) definidas. De posse de 5 tamanhos, foi proposto dois modelos de regressão à partir das MSCs das 5 diferentes quantidades por janela. O primeiro, foi um modelo polinomial, o segundo um logístico. Foi gerado um banco de dados e testes foram realizados buscando identificar qual seria a melhor combinação de janelas possível para o novo detector, observando quais opções de combinação iriam resultar no maior Verdadeiro Positivo possível.



DETECTOR	Verdadeiro Positivo (%)	Falso Negativo (%)	Nível de Significância (%)
Polinômio (x_1, x_2)	86,61	13,39	5
Polinômio (x_1, x_2, x_3)	86,60	13,40	5
Logístico (x_1, x_2)	86,41	13,59	5

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

A partir dos resultados, mantendo as condições, um novo banco de dados foi criado para teste de implementação de um novo ORD que combinaria linearmente as probabilidades para diferentes detectores em função de M . O Banco de dados gerado utilizou MSC, CSM, MRT e Teste F(STF) condicionando a saída esperada para um ruído gaussiano sendo 0 e a saída com o sinal acrescido do ruído gaussiano sendo 1. Os ORDs MSC, CSM e MRT possuem dependência de M , mas o STF não, portanto, foi considerada aos pares 5, 10, 15 *bins* vizinhos à frequência moduladora para a medição sob as condições anteriormente descritas. Esse banco de dados foi submetido a uma rede neural de uma única camada

Rede Neural	87,02	12,98	5
-------------	-------	-------	---

Fonte: Elaborado pelos autores, 2025.

4.0 Conclusão

Os resultados utilizando a métodos computacionais estatísticos, como regressão linear polinomial e regressão logística, mesmo para um banco de dados grande não se mostrou efetivo para a criação de uma nova ORD. O teste com o modelo polinomial para duas entradas (x_1, x_2) indicou que a melhor combinação linear foi para os dois primeiros menores tamanhos de janela, por consequência, o mesmo ocorreu para o teste com três entradas (x_1, x_2, x_3) . Esse resultado indica que para a MSC, a menor quantidade de janelas pode indicar uma maior probabilidade de detecção de ASSR. A aplicação do novo banco de dados, com base nos testes antecedentes, mostra a possibilidade de melhoria de detecção à partir da implementação de uma Rede Neural.



O desenvolvimento e pesquisa para uma nova ORD, partindo de métodos de aprendizagem de máquina, faz-se necessária para mitigar a problemática contida nos diagnósticos de distúrbios auditivos.

REFERÊNCIAS

- [1] Dolphin, W. F.; Mountain, D. C. **The envelope following response: scalp potentials elicited in the Mongolian gerbil using sinusoidally AM acoustic signals.** *Hearing research*, v. 58, n. 1, p. 70-78, 1992.
- [2] Dobie, R. A., Wilson, M. J.: **Analysis of auditory evoked-potentials by magnitude-squared coherence.** *Ear Hear.* 10(1): 2–13, 1989.
- [3] Cebulla, M.; Stürzebecher, E.; Elberling, C.: **Objective detection of auditory steady-state responses: comparison of one-sample and q-sample tests.** *Journal of the American Academy of Audiology*, v. 17, n. 02, p. 093-103, 2006.
- [4] Fisher, R. A.: **Tests of significance in harmonic analysis.** *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, v. 125, n. 796, p. 54-59, 1929.
- [5] OMS.: **Deafness and hearing loss, 2021.**
URL <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs300/en/>.
- [6] Sininger, Y. S., Hunter, L. L., Hayes, D., Roush, P. A., Uhler, K. M.: **Evaluation of Speed and Accuracy of Next-Generation Auditory Steady State Response and Auditory Brainstem Response Audiometry in Children With Normal Hearing and Hearing Loss.** *Ear hear.* 2018.
- [7] Michel, F., Jorgensen, K. F.: **Comparison of threshold estimation in infants with hearing loss or normal hearing using auditory steady-state response evoked by narrow band CE-chirps and auditory brainstem response evoked by tone pips.** *Int J Audiol.*; 56(2): 99–105, 2017.
- [8] Picton, T. W., John, M. S., Dimitrijevic, A., Purcell, D. W.: **Human auditory steady-state responses.** *Int J Audiol.* 42(4): 177–219, 2003
- [9] Picciotti, P.M., Giannantonio, S., Paludetti, G., Conti, G.: **Steady state auditory evoked potentials in normal hearing subjects: Evaluation of threshold and testing time.** *Orl*, 74(6), p.310–314, 2013.
- [10] Hatton, J.L., Stapells, D.R.: **Monotic versus dichotic multiple-stimulus auditory steady state responses in young children.** *Ear Hear.*, 34(5), p.680–2, 2013.
- [11] Herdman, A.T., Stapells, D.R.: **Auditory steady-state response thresholds of adults with sensorineural hearing impairments.** *Int. J. Audiol*, 2003.
- [12] Vander Werff, K.R.: **Accuracy and Time Efficiency of Two ASSR Analysis Methods Using Clinical Test Protocols.** *J. Am. Acad. Audiol.*, 20(7), p.433–452, 2009.
- [13] Miranda de Sá, A. M. F. L.: **A note on the sampling distribution of coherence estimate for the detection of periodic signals.** *IEEE Signal Process Lett.* 11(3): 323–325, 2004.
- [14] Miranda Sá, A. M. F. L.; Felix, L. B.: **Multi-channel evoked response detection using only phase information.** *Journal of neuroscience methods*, v. 129, n. 1, p. 1-10,
- [15] Goodfellow, I.; Bengio, Y.; Courville, A. **Deep Learning.** Cambridge: MIT Press, 2016.2003.