



## AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO FILTRO NOTCH DE EQUIPAMENTO MÉDICO DE EEG EM SALA MAGNETICAMENTE BLINDADA

Kaliny Alice Carvalho de Oliveira Magalhães\*<sup>1</sup>, Camila D. Ramos<sup>1</sup>, Eduarda N Soares<sup>1</sup> and João Batista Destro Filho<sup>2</sup>

<sup>1</sup>FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

<sup>2</sup>FEELT – Universidade Federal de Uberlândia

**Resumo** – O eletroencefalograma (EEG) é um exame gráfico que capta a atividade cerebral utilizando eletrodos anexados no escalpo. Os sinais possuem pequenas amplitudes e devido a isso estão suscetíveis a interferências de ruídos, como sudorese, movimentação e a artefatos de rede. Visto que a faixa de frequência de 60 Hz, normalmente associada ao ruído de rede, contém informações importantes, foi realizada a análise de quatro situações para mapear o grau de qualidade do filtro Notch de um equipamento biomédico destinado ao registro do EEG, através de testes realizados em sala magneticamente blindada. Em relação ao grau de refinamento e bom funcionamento da sala blindada, pode-se afirmar que é satisfatório, visto que as diferenças significativas da comparação entre o ambiente isolado e o sem isolamento é notável.

**Palavras-Chave** – EEG, Sala blindada, ruído, frequência.

### NOTCH FILTER EXPERIMENTAL ASSESSMENT IN THE CONEXT OF ELECTROENCEPHALOGRAPHY RECORDING

**Abstract** -EEG is a graphic test that records brain activity using electrodes attached to the scalp. The signals present small amplitudes, leading to a high level of noise interference, such as sweating, muscle waves and network artifacts. Since the 60 Hz frequency range is normally associated with network noise, notch filters are applied for its suppression. An experimental analysis of four situations was performed to assess the quality of a shielded room and the quality of the Notch filter. Since there are significant statistical differences in the shielded room and its environment, results point out that the room is suitable.

**Keywords** –EEG, armored room, noise, frequency.

\*kaliny\_alice@hotmail.com

### I. INTRODUÇÃO

A eletroencefalografia (EEG) é um exame gráfico capaz de obter os sinais de atividades cerebrais por intermédio de eletrodos. O exame pode ser realizado com eletrodos internos e externo, sendo o segundo o mais comum, visto que não é invasivo e mais fácil de ser realizado. [1]. A captação é realizada com o auxílio de 22 eletrodos posicionados no escalpo do indivíduo, como descrito no sistema internacional 10-20. As informações obtidas com o EEG, são separadas por frequências e amplitudes, conhecidas como ritmos cerebrais. Essas informações se dão devido a comunicação nas células celebrais através de impulsos elétricos.

Os ritmos cerebrais estão correlacionados a estados da mente podendo ser divididos em seis frequências, sendo elas: Delta (0,5 - 3,5 Hz), Teta (3,5 – 7,5 Hz), Alfa (7.5 – 12,5 Hz), Beta (12,5 - 30 Hz), Gama (30–60 Hz) e Super Gama (80-120+)[2]. Mesmo que essas frequências sejam bem segmentadas ainda existem alguns fatores que podem alterar o traçado conhecidos como artefatos no sinal, podendo estar relacionados a movimentação, sudorese e ruídos externos do ambiente como o ruído de rede na faixa de frequência de 60 Hz.

Ruído de rede afeta, principalmente, os traçados captados em unidades intensivas de saúde devido a grande quantidade de equipamentos ligados na rede elétrica, podendo assim, influenciar a qualidade das informações captadas durante um registro EEG [3]. Para se avaliar a eficiência dos filtros do equipamento EEG na supressão do ruído de 60 Hz, pode-se realizar testes em sala magneticamente blindada.

Salas com isolamento magnético são utilizadas para se criar um ambiente o mais isento possível de ruídos artificiais, particularmente, o ruído de 60 Hz [4]. A parte interna da câmara é fabricada com um material de alta permeabilidade, como o Mu metal, visto que o ruído térmico magnético é menor para esse material, se comparado com o alumínio. Os ambientes isolados são altamente testados para garantir a eficácia em relação a filtragem de ruídos.

O objetivo desse estudo é a avaliação do grau de qualidade do filtro Notch de equipamentos EEG, que tem como objetivo filtrar as frequências relativas a 60 Hz de um traçado, dentro de uma sala magneticamente blindada.

## II. METODOLOGIA

### A. Gravação dos dados

O experimento foi realizado nas dependências do laboratório de Biomagnetismo, Depto de Física, Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da USP, campus de Ribeirão Preto, sob coordenação do Prof Oswaldo Baffa Filho. A câmara magneticamente blindada foi construída em conformidade com as diretivas explicadas detalhadamente em [4]. Foram realizadas medidas de EEG num indivíduo neurologicamente normal, dentro da sala blindada, e externamente a esta. Para evitar ruído, o equipamento foi alimentado através de uma bateria de 12 V. O indivíduo foi inicialmente registrado fora da sala, e posteriormente dentro da mesma. Nos dois casos, o indivíduo esteve deitado, em silêncio absoluto, de olhos fechados. Foram registrados um total de 10 minutos contínuos para cada um dos ambientes, variando-se a frequência de amostragem do registro (240,

Hz, por parte da sala. A terceira situação (S3) compara a captação dentro e fora da sala blindada, ambos com o filtro Notch desativado, visando avaliar a capacidade de rejeição de todo tipo de ruído, inclusive aquele de 60 Hz, por parte da sala.

As duas últimas situações objetivam analisar a qualidade do filtro Notch do equipamento. A primeira situação (S1) compara a captação, dentro da sala blindada, com o filtro Notch ativado, com o sinal obtido após registro realizado dentro da mesma sala, porém sem o filtro Notch ativado. Por último, em (S4) foi realizada a análise essencial do filtro Notch referente apenas ao ruído de 60 Hz, através da comparação do sinal registrado fora da sala blindada com filtro Notch ativado, com o sinal registrado também fora da sala, porém com o filtro Notch desativado.

### C. Quantificadores

Após a separação das épocas, foram realizados os processamentos dos dados através de uma plataforma desenvolvida pelo próprio grupo de pesquisa, considerando-se os seguintes quantificadores: Porcentagem de Contribuição de Potência (PCP), Frequência Mediana (FM) e

Tabela 1. Comparação das situações pelo quantificador PCP

Situação*	240 eletrodos*	400 eletrodos	600 eletrodos	240 ruídos*	400 ruídos	600 ruídos
S2	39,16%	32%	59,17%	25%	5%	20%
S3	5,83%	5,83%	61,67%	5%	5%	35%
S1	N*	10%	0,83%	N	10%	N
S4	1,67%	1,67%	5%	N	5%	N

\*Situação: As situações S1 – S4 foram divididas de acordo com o tipo de gravação realizada durante a medição, sendo eles: Para a situação (S2), comparou-se a captação do sinal registrado dentro da sala blindada com o filtro Notch ativado, com a captação fora da sala com o filtro Notch ativado. A terceira situação (S3) compara a captação dentro e fora da sala blindada, ambos com o filtro Notch desativado. A primeira situação (S1) compara a captação, dentro da sala blindada, com o filtro Notch ativado. Por último, em (S4) foi realizada a análise essencial do filtro Notch referente apenas ao ruído de 60 Hz. \*Eletrodos e \*Ruídos: A porcentagem foi obtida e separada em eletrodos, que diz respeito a análise desconsiderando a frequência de 60 Hz e ruído, fazendo a análise apenas dessa faixa de frequência. \*N: não significativo.

400 e 600 Hz), e variando-se a atuação do filtro Notch de 60 Hz do equipamento de EEG. Em alguns momentos, este filtro foi ativado, em outros, desligado.

Foi realizada a separação das épocas de todas as situações mensuradas durante a coleta de dados na sala blindada. O sinal foi dividido em 10 épocas diferentes de 2 segundos de duração. Os eventos foram separados de acordo com as gravações realizadas dentro e fora da sala blindada, a saber: 600 Hz dentro da sala e 600 Hz fora da sala, 400 Hz dentro da sala e 400 Hz fora da sala. 240 Hz dentro da sala e 240 Hz fora da sala.

### B. Processamento dos dados

Foram realizados quatro diferentes análises ou situações. As duas primeiras situações referem-se à avaliação da qualidade de atuação da sala blindada. Para a situação (S2), comparou-se a captação do sinal registrado dentro da sala blindada com o filtro Notch ativado, com a captação fora da sala com o filtro Notch ativado, o que permite avaliar a capacidade de rejeição de ruídos que não sejam aquele de 60

Coerência. [5].

O quantificador PCP ressalta a quantidade de energia em uma faixa de frequência e é obtida através da equação:

$$P_i = \int |S_x i(f)|^2 df \quad i = 1, 2, \dots, S \quad (1)$$

Sendo:

$P_i$  – Potência espectral [W]

$f$  – Frequência [Hz]

$S_x$  – Densidade espectral de potência [W/Hz]

$i$  – Época considerada;  $S = 10$  épocas

$$PCP_{ritmo} = \frac{\int_{f=f_{inritmo}}^{f=f_{outritmo}} |S_x i(f)|^2 df}{P_i} \quad i = 1, 2, \dots, S \quad (2)$$

A partir do espectro da frequência obtida em (1), é possível obter a Frequência Mediana, que resume a principal frequência do espectro, conforme (3).

$$F_m i = \frac{\sum_{n=1}^m \int |S_x i(f)|_{faixa^x f faixa}}{P_i} \quad (3)$$

Sendo:

$Fm_i$  – Frequência Mediana da época  $i$  [Hz]  
 $f_{faixa}$  – Vetor de frequências [Hz]

O grau de similaridade de fase entre dois sinais, que avalia a semelhança entre os dois hemisférios cerebrais, é obtido através da Coerência, conforme (4).

$$|\Gamma_{xy}(e^{jw})|_i^2 = \frac{|S_{xy}(e^{jw})|^2}{S_x(e^{jw})S_y(e^{jw})} \quad (4)$$

Onde:

$S_{xy}$  – Densidade cruzada entre os sinais  $x$  e  $y$ ; [W/Hz]

$S_x$  – Densidade espectral do sinal  $X$ ; [W/Hz]

$S_y$  – Densidade espectral do sinal  $U$ ; [W/Hz]

#### D. Análise estatística

Com os resultados do processamento, foram realizados os testes de comparações entre todos os eventos e para cada um dos quantificadores citados anteriormente. O teste estatístico utilizado para tal análise foi aquele de Mann-Whitney [6].

### III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram geradas três tabelas contendo as informações do processamento dos dados obtidos. As tabelas estão dispostas de acordo com a porcentagem em relação ao resultado do  $p$ -valor em forma de porcentagem. A porcentagem foi obtida e separada em eletrodos, que diz respeito a análise desconsiderando a frequência de 60 Hz e ruído, fazendo a análise apenas dessa faixa de frequência.

Fazendo a análise dos quantificadores em relação com as situações analisadas (S1- S4) descritas nas tabelas e na sessão de metodologia, a qualidade da sala blindada em relação a todos os ruídos (S3) em PCP, apenas é confirmada na análise da frequência de 600 Hz, visto que apresentou

uma diferença de 61.67%, isso significa que o quantificador PCP é bastante influenciado pela sala blindada. Na (S2), comprova que fora da sala blindada não tem tantos ruídos, isso ajuda a confirmar que o motivo de não ter dado valores significativos nessa situação, quando é utilizado 240 e 400 Hz como frequência de amostragem ( $fa$ ), é que os valores só mostram diferenças significativa quando uma  $fa$  maior de 600 Hz é analisada. Já no evento de qualidade da sala blindada desconsiderando 60 Hz, pode-se considerar que mesmo se o Notch funcionar ele não elimina todos os ruídos, então a diferença é plausível visto que a sala é blindada. É correto afirmar que os ruídos fora da sala blindada estão diretamente ligados a 60 Hz, porém os resultados apresentam diferenças significativa, isso evidencia que fora da sala blindada há ruídos diferentes de 60 Hz. O mesmo não volta a acontecer em nenhuma outra comparação de PCP das frequências de 240 e 400 Hz, com exceção de alguns pontos específicos que apresentam um  $p$ -valor mais baixos que os demais.

Os valores de PCP quando comparados utilizando o teste de Mann-Whitney, na situação que analisa o grau de refinamento do filtro Notch (S4), não apresentaram diferenças estatísticas significativas, como pode ser visto na Tabela 1, o valor de 10% visto na frequência de 400 Hz está dentro da faixa de aceitação.

Em geral, a tabela 2 mostra que a frequência de amostragem de 240 Hz foi a única que atingiu um grau de significância maior de 60% em relação a análise dos eletrodos, enquanto 400 e 600 Hz tiveram apenas 39,58% e 33,33% respectivamente, de diferenças significativas, em todos os eventos relacionados a Coerência, obtiveram um comportamento similar com grandes diferenças significativas.

A FM (Tabela 3) não apresentou tantas diferenças significativas, ou seja, não sofreu tanta influência da sala blindada, porém pode-se concluir claramente na análise da sala blindada considerando todos os ruídos e posteriormente desconsiderando o de 60 [Hz] que quando aumenta a frequência de amostragem, aumenta também a diferença

Tabela 2. Comparação das situações pelo quantificador COERENCIA

Situação	240 eletrodos	400 eletrodos	600 eletrodos	240 ruído	400 ruído	600 ruído
S2	68,75%	52,08%	58,33%	25%	62,5%	12,5%
S3	52,08%	52,08%	60,41%	75%	75%	62,5%
S1	62,5%	39,58%	33,33%	37,5%	12,5%	25%
S4	35,41%	25%	39,58%	50%	37,5%	50%

Tabela 3. Comparação das situações pelo quantificador FM

Situação	240 eletrodos	400 eletrodos	600 eletrodos	240 ruídos	400 ruídos	600 ruídos
S2	9,16%	19,17%	21,66%	N	10%	15%
S3	5,83%	5,83%	24,17%	10%	10%	10%
S1	28,33%	N	8,33%	N	5%	N
S4	1,67%	5%	5,83%	5%	5%	10%

estatística, visto que quanto mais componentes tem na frequência mais são afetadas pelo filtro.

Um ambiente com isolamento como uma sala blindada para a captação de um sinal com menos artefatos possui limitações financeiras já que tem um alto valor para a construção [7]. Logo, existem algumas outras formas de remoção de ruídos citadas em pesquisas, como em [8], nesse estudo foi utilizada uma técnica de análise exploratória de decomposição dos dados de EEG registrados, a fim de separar os valores reais dos ruídos encontrados no traçado. Ao final, esse método se mostrou eficaz e confiável. O achado [9] optou pelo uso da técnica de análise de componente independente para a remoção de artefatos do sinal, como também o uso de wavelet para a decomposição do sinal combinando domínio de tempo com frequência simultaneamente, assim wavelet consegue distinguir parte do ruído no sinal pela análise tempo-frequência.

#### IV. CONCLUSÕES

Em todas as situações e frequências de amostragem, a coerência foi a que sofreu mais oscilações quando comparada aos demais, em relação a análise dentro e fora da sala blindada, logo, pode-se concluir que esse quantificador apresenta características que evidenciam a sua sensibilidade a ruídos. FM e PCP possuem comportamentos semelhantes em três condições, sendo elas: Grau de refinamento do filtro Notch, qualidade da sala blindada em relação a todos os ruídos, e a análise essencial do Notch referente apenas ao 60 Hz, entretanto, FM é o que menos sofre interferência de ruídos visto que existem poucas diferenças significativas em suas comparações, nunca passando de 28,33%.

Por tanto, em relação ao grau de refinamento e bom funcionamento da sala blindada pode-se afirmar que é satisfatório visto que as diferenças significativas da comparação entre o ambiente isolado e o sem isolamento é bem notada em frequências de amostragem acima de 400 Hz.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Prof Oswaldo Baffa Filho e sua equipe por autorizarem nosso experimento na sala blindada, bem como pela assessoria técnica do ponto de vista experimental. Agradecemos a Renato Aureo pelo empréstimo da bateria que possibilitou o experimento.

#### REFERÊNCIAS

- [1] D. L. Schomer and F. H. L. da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, Sixth. Philadelphia, PA 19103 USA: Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- [2] L. Sörnmo and P. Laguna, *BIOELECTRICAL SIGNAL PROCESSING IN CARDIAC AND NEUROLOGICAL APPLICATIONS*, ELSEVIER. Burlington, MA 01803, USA.: Academic Press; 1 edition, 2005
- [3] G. W. Sullivan, P. S. Lewis, J. S. George, and E. R. Flynn, "A magnetic shielded room designed for magnetoencephalography", *Review of Scientific Instruments* **60**, 765, Jan (1989).
- [4] C. D. Ramos, "Caracterização do eletroencefalograma normal em situação de vigília: elaboração da base de dados e análise quantitativa," Faculdade de Engenharia Elétrica FEELT - Universidade Federal de Uberlândia, Dissertação de mestrado, 2017.
- [5] M. J. Fontelles, *BIOESTATÍSTICA Aplicada à Pesquisa Experimental: volume 1*, 1A. ED. 20. São Paulo: Livraria da física, 2012.
- [6] G. Silva, M. Alves, R. Cunha, B. C. Bispo and P. M. Rodrigues, " Parkinson Disease Early Detection Using EEG Channels Cross-Correlation", *International Journal Of Applied Engineering Research*. ISSN 0973-4562 pp. 197-203 Volume 15, Number 3, 2020).
- [7] Q. Shi , J. Yang , J. Cao , T. Tanaka , R.Wang & H. Zhu (2011) EEG data analysis based on EMD for coma and quasi-brain-death patients, *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 23:1, 97-110, Feb 2011
- [8] G. CUI, L. ZHU, D. WANG, J. CAO, "EEG Analysis for Differentiating between Brain Death and Coma in Humans" -*International Journal Of Computers & Technology*, Vol. 15N. 11, October, 2016.