

Análise e Interpretação de Sinais Neurais

Isabella Lanes Rocha
Isabella.rocha@aedb.br
AEDB

Ítallo Rocha Generozo
Itallo.generozo@aedb.br
AEDB

Natan Cerqueira Amorim
natan.amorim@aedb.br
AEDB

Ramon Alves dos Santos
ramon.alves@aedb.br
AEDB

Resumo: Nas últimas décadas, o desenvolvimento de novas tecnologias e ferramentas de pesquisa tem desempenhado um papel essencial na aceleração do estudo da neurociência e no entendimento do comportamento humano. A compreensão cada vez mais profunda e precisa dos processos cerebrais subjacentes às funções cognitivas, emocionais e comportamentais tem ampliado as áreas de aplicação das tecnologias desenvolvidas.

Neste contexto, os avanços tecnológicos têm sido inestimáveis, permitindo a exploração de aspectos anteriormente inacessíveis do cérebro, desde ao nível microscópico, como sinapses e neurônios individuais, até ao nível macroscópico, como redes cerebrais e sistemas neurais. A análise desses dados revela padrões de ativação cerebral associados a diferentes comportamentos, emoções e estados mentais, permitindo que diversas aplicações sejam desenvolvidas para atender demandas humanas, medicinais e comerciais.

O presente artigo tem por objetivo contextualizar o conceito da evolução tecnológica em respeito à neurociência computacional a partir da demonstração do funcionamento do sistema nervoso central humano, tendo como base os sinais neurais elétricos, sua relação com o mundo ao qual se compartilha a vivência diária e a possibilidade do controle do mesmo. Também é apresentada a iminente interação humana com máquinas e equipamentos eletrônicos através do pensamento, desta forma atingindo um novo patamar no desenvolvimento da interação homem-máquina e consequentemente nos processos produtivos e evolutivos.

Palavras Chave: Sinais Neurais - Cerebro - EEG - Eletrônica Sinapses

1. INTRODUÇÃO

Desde o início da história buscou-se entender a dinâmica envolvida em tarefas e atividades simples do ser humano, muitas das vezes involuntárias, como o funcionamento do corpo humano. Conforme os avanços tecnológicos, de pesquisa e ciência, mais do que compreender os processos, tornou-se possível interagir com uma grande diversidade deles. Uma vez que o desenvolvimento de máquinas e novas tecnologias, trilhou um caminho para alcançar a artificialização das atividades inerentemente fisiológicas.

Graças a este avanço vê-se a tecnologia ser capaz de gerar soluções de acessibilidade, comunicação, aprendizado e principalmente, agregar valor a dispositivos já conhecidos. É possível notar a grande ambição dos humanos na capacidade de controlar e monitorar cada processo realizado, desde o primeiro computador, até métodos remotos de controle que utilizam a grande interação com a internet, chamados IoT (Internet of Things).

A interação entre humanos e máquinas tem sido um campo de pesquisa e desenvolvimento em expansão nos últimos anos. As três últimas décadas testemunharam o aparecimento de interfaces homem-máquina inovadoras que utilizam voz, visão, tato e a combinação desses elementos como base para um sistema de comunicação.

No século da informação, tão importante quanto possuir acesso aos dados é saber tratá-los e utilizá-los a favor do desenvolvimento científico e tecnológico. O presente trabalho pretende tratar as informações neuronais coletadas de usuários que podem ser beneficiados desta tecnologia e identificar estados de cansaço e sono.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. CÉREBRO

O encéfalo é composto por dois hemisférios cerebrais, que apresentam uma organização anatômica complexa. Cada hemisfério é constituído por uma camada externa altamente enrugada denominada córtex cerebral e três estruturas situadas mais profundamente, a saber: os núcleos da base, o hipocampo e os núcleos da amígdala. O córtex cerebral, por sua vez, é dividido em quatro lobos distintos, cada qual desempenhando funções específicas: o lobo frontal, o lobo parietal, o lobo occipital e o lobo temporal. Cada lobo possui características anatômicas e conexões neurais peculiares, contribuindo para a diversidade funcional e a complexidade das atividades cerebrais.

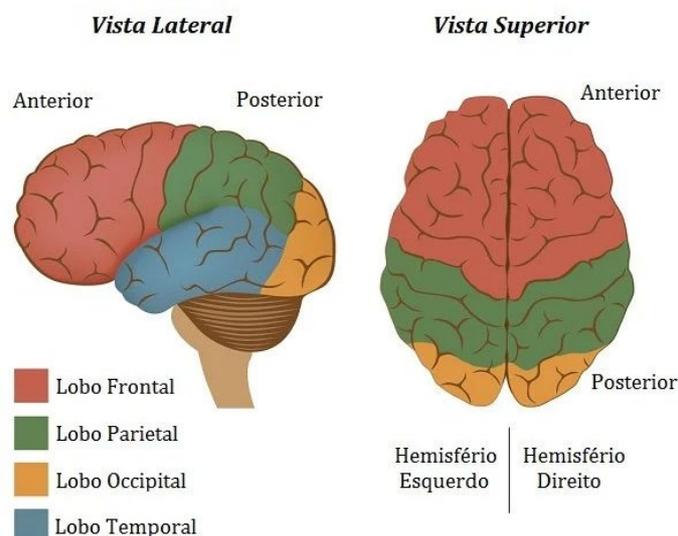


Figura 1: Os lobos e hemisférios cerebrais

Fonte: <https://www.todamateria.com.br/cerebro/>

2.2. NEURÔNIO

As células nervosas individuais, conhecidas como neurônios, são as unidades fundamentais que compõem o cérebro. Sua estrutura funcional caracteriza o funcionamento do sistema nervoso. Estima-se que os seres humanos possuem cerca de 86 bilhões de neurônios em funcionamento no sistema nervoso, entretanto, a complexidade do comportamento humano depende mais da organização dos neurônios em circuitos anatômicos com funções precisas do que de sua variedade. Um princípio organizacional fundamental do encéfalo, portanto, é que as células nervosas com propriedades similares podem produzir ações diferentes de acordo com a maneira como se interconectam.

2.2.1. ESTRUTURA CELULAR NEURAL

Um neurônio típico tem quatro regiões morfológicamente definidas: o corpo celular, que acomoda o núcleo e as organelas celulares; os dendritos, ramificações tanto do corpo celular quanto do axônio e realizam a comunicação entre os neurônios; o axônio, uma prolongação única, revestida de mielina (camada lipídica que atua na condução dos impulsos nervosos) e responsável por conduzir os impulsos; e os terminais pré-sinápticos, regiões especializadas dilatadas nas terminações do axônio. A atividade neuronal é também denominada Sinapse, nome, também, dado à junção axônio-dendrito entre dois neurônios, onde ocorre esta atividade. O fluxo da atividade constitui-se basicamente na transmissão de estímulos elétricos pré e pós-sinápticos. A figura 2 representa o fluxo do sinal elétrico no interior de uma célula neuronal individual. No corpo celular o sinal elétrico é gerado e transmitido pelo axônio. Apesar de possuir característica inicialmente elétrica, o sinal neuronal é convertido em um sinal químico (neurotransmissor) pelo neurônio pré-sináptico e transmitido através da lacuna sináptica para o neurônio pós-sináptico, onde o sinal químico é novamente convertido em sinal elétrico.

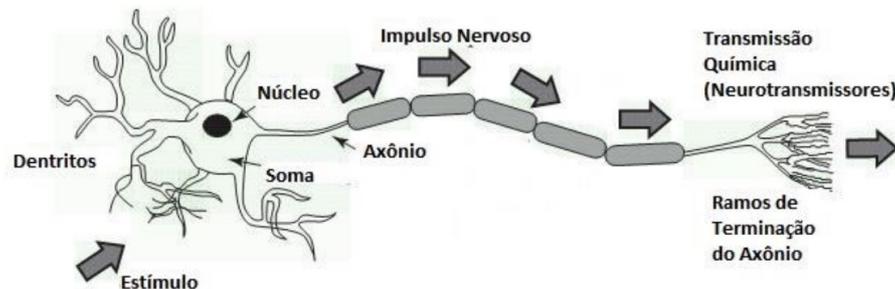


Figura 2: Estrutura de uma célula neuronal e esboço da atividade sináptica

Fonte: Sanei, Saeid e Chambers, J.A. EEG Signal Processing. 1ª Ed, Elsevier, junho de 2005

Com base nos estudos realizados pelos doutores Andrew Huxley e Alan Hodgkin, vencedores do prêmio Nobel de Fisiologia em 1963, é possível hoje comparar a estrutura molecular do neurônio a um circuito elétrico.

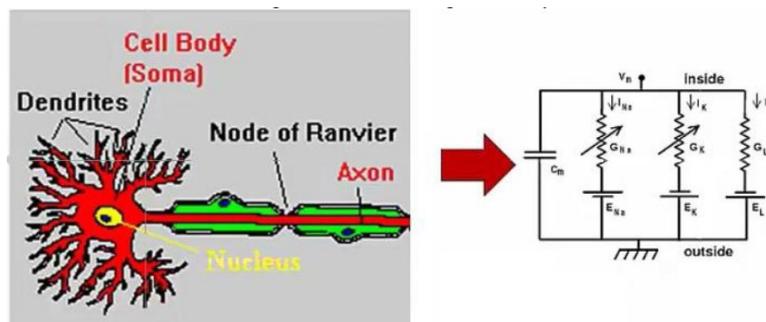


Figura 3: Modelo de Hodgkin-Huxley

Fonte: Computational Neuroscience - Course by University of Washington

2.3. MONITORAMENTO DA ATIVIDADE CEREBRAL (EEG)

O Eletroencefalograma (EEG) é uma técnica de registro das atividades elétricas cerebrais. Esses sinais elétricos são produto da cooperação sincronizada das células neuronais, que geram potenciais elétricos extracelulares durante as atividades mentais, motoras e sensoriais do indivíduo. O EEG fornece uma representação gráfica das variações desses potenciais elétricos ao longo do tempo, permitindo a análise e a interpretação dos padrões de atividade cerebral. Essa técnica é amplamente utilizada na pesquisa e na prática clínica para investigar estados mentais, distúrbios neurológicos, padrões de sono e outras funções cerebrais essenciais.

No entanto, a extração de informações significativas dos sinais de Eletroencefalograma é uma tarefa de alta complexidade. Em primeiro lugar, os sinais de EEG são influenciados por fatores fisiológicos internos do corpo e por fatores externos, tornando-os altamente variáveis e imprevisíveis. Além disso, esses sinais possuem baixa amplitude, o que significa que são muito fracos e sensíveis a interferências externas, resultando em ruídos e artefatos que podem distorcer a informação original. A presença de ruídos e artefatos dificulta a tarefa de extrair os padrões cerebrais relevantes e, portanto, requer técnicas avançadas de processamento de sinais e análise para separar os componentes de interesse das interferências indesejadas.

As ondas são medidas em ciclos por segundo ou Hertz (Hz). Essas ondas mudam sua forma de acordo com a atividade elétrica dos neurônios e estão sempre relacionadas com pequenas ou grandes alterações de estado (relaxamento, meditação, concentração e demais estados).

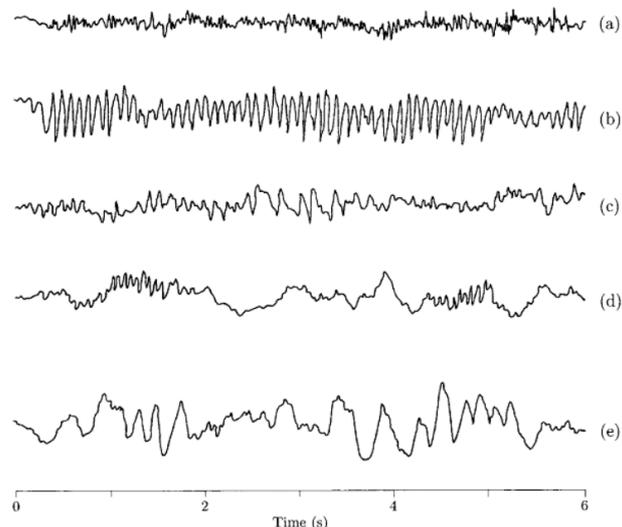


Figura 4: Ritmos de um Sinal de Eletroencefalograma em possíveis estados mentais do indivíduo de sonolento para acordado: (a) ativo, (b) relaxado, (c) sonolento, (d) dormindo, (e) sono profundo
Fonte: Sanei, Saied e Chambers, J.A. EEG Signal Processing

Para que essa comunicação seja possível é necessário o uso de equipamentos para a captação dos sinais cerebrais. O modelo atual de EEG utiliza o sistema padrão internacional 10-20. O sistema 10-20, demonstrado na Figura 5, padronizou a maneira correta e mais eficiente de captação dos sinais neurais, garantindo uma maior fidelidade ao resultado. São distribuídos 21 eletrodos e colocados no couro cabeludo de acordo com dois pontos de referência:

Nasion (localizado no topo do nariz entre as sobrancelhas);

Inion (base do crânio atrás da cabeça);

As posições dos eletrodos são determinadas dividindo esses perímetros em intervalos de 10% ou 20%.

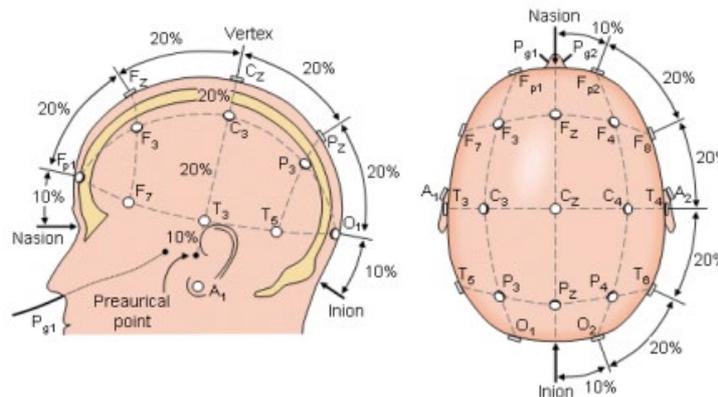


Figura 5: Pontos de medição sistema internacional 10-20
 Fonte: Malmivuo & Plonsey, 1995.

2.4 ONDAS CEREBRAIS

Apesar de cada indivíduo ter sua própria característica de atividade cerebral, é possível achar os padrões básicos de cada estado, sendo eles: Beta, Alpha, Theta e Delta. É possível distinguir cada uma destas ondas e relacioná-las com a atividade que está sendo realizada e com seu respectivo estado mental.

- Delta (1-3) Hz: Consciência expandida, Cura e Recuperação e Sono
- Theta (4-8) Hz: Meditação, Intuição, Criatividade e Memória
- Alpha (9-13) Hz: Relaxamento, Visualização e Meditação
- Beta (14-17) Hz: Atenção, concentração e cognição
- High Beta (18-30) Hz: Movimento de membros inferiores
- Low Gamma (31-40) Hz: Processamento multissensorial
- High Gamma (41-50) Hz: Função cognitiva e memória

2.4.1. DELTA - CONSCIÊNCIA EXPANDIDA, RECUPERAÇÃO E SONO

O estado Delta é o acesso mais baixo das frequências das ondas cerebrais. E estão ligadas ao sono profundo. Algumas faixas de frequências no Delta são responsáveis pela liberação do HGH (hormônio do crescimento humano), que beneficia o desenvolvimento do corpo, entre outras atividades relacionadas. A faixa Delta está entre 0.1 e 4 Hz.

2.4.2. THETA - MEDITAÇÃO, INTUIÇÃO, CRIATIVIDADE E MEMÓRIA

Em um estado de relaxamento cada vez maior, a mente entra no estado de Theta, onde a atividade cerebral é quase a mesma que a de sono. É nesse estado que acontecem flashes das imagens do inconsciente, surtos criativos e memórias há muito tempo “esquecidas”. A faixa de frequência das ondas Theta está entre 4 e 7 Hz.

2.4.3. ALPHA - RELAXAMENTO, VISUALIZAÇÃO E MEDITAÇÃO

No estado Alpha, o corpo libera a sua capacidade de entrar em um estado de dormência e assim acessa estados de consciência. Ao relaxar o corpo experimenta-se uma sensação de paz e bem-estar e a atividade cerebral baixa rapidamente. A faixa de ondas Alpha fica em torno de 7 a 12 Hz.

2.4.4. BETA - ATENÇÃO, CONCENTRAÇÃO E COGNIÇÃO

Estado desperto em que os neurônios transmitem as informações o mais rápido possível e permitem alcançar o estado de concentração. Esse estado permite a melhora da acuidade visual e coordenação. A faixa de frequência das ondas Beta está entre 14 e 30 Hz.

2.4.5. GAMMA - PENSAMENTO, ALTA ATIVIDADE MENTAL, PERCEÇÃO E CONSCIÊNCIA

As Ondas Gamma atendem estados de consciência, como o processamento cognitivo atento (por exemplo, ao focar em um problema) ou a percepção atenta. O estado Gamma atinge uma frequência de 31 a 50 Hz.

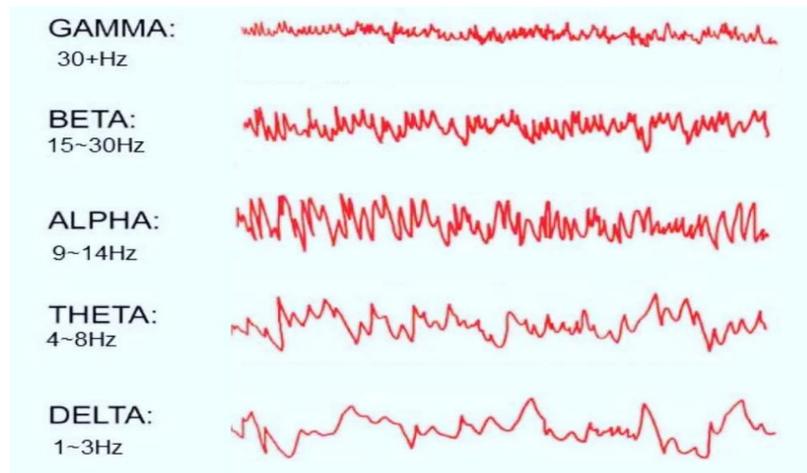


Figura 6: Ondas Neurais - Demonstração do comportamento de Sinal
 Fonte: <https://neurofeedbackalliance.org/understanding-brain-waves/>

3. DESENVOLVIMENTO

Com base nos estudos realizados e com os dados apresentados, é possível observar que o uso da frequência das ondas neurais se torna cada vez mais viável para realizar projetos estudos na área da neurociência – desde um EEG até mesmo a um protótipo eletrônico com microcontroladores e/ou microprocessadores.

Neste caso aprofundou-se à Neurociência Computacional, envolvendo a aquisição de dados por meio dos eletrodos devidamente posicionados no couro cabeludo, utilizando o padrão 10-20. Após o devido tratamento e filtragem podem ser obtidos os dados com qualidade suficiente para análise e diversas aplicações. Com o tratamento destes é viável sua utilização para o desenvolvimento e controle de componentes eletrônicos, próteses, ou mesmo a interligação com bases de dados contidas localmente ou na internet.

Inicialmente, foi realizado a aquisição dos dados com sono e sem sono para identificação e comprovação dos padrões citados anteriormente. Em posse dos dados, foi elaborado uma RNA (Rede Neural Artificial) utilizando a linguagem de programação Python para identificar os padrões e realizar a modelagem matemática do comportamento baseado no sinal do indivíduo.

A figura 7 representa o fluxograma do funcionamento do algoritmo:

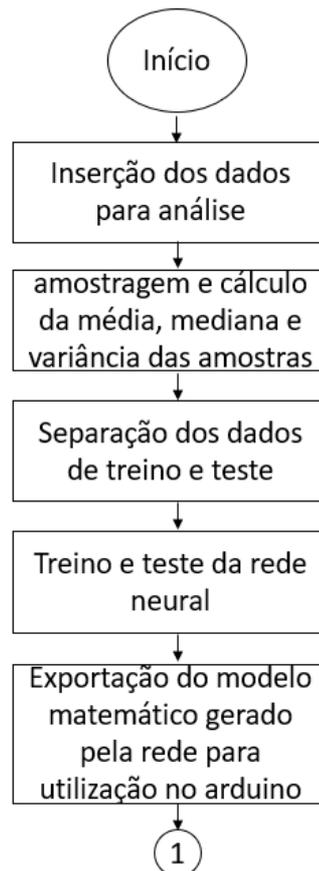


Figura 7: Fluxograma do aprendizado e teste da rede neural artificial

Após o treino, a RNA atingiu aproximadamente 94% de acurácia durante o teste, conforme indicado pela figura 8.

```

[Verdadeiro negativo] [falso positivo]
[Falso negativo] [Verdadeiro positivo]
[[ 51  6]
 [  8 167]]
a assertividade do teste foi: 0.9396551724137931
  
```

Figura 8: Resultado do aprendizado da rede neural artificial

Na exportação dos dados do método matemático, foi utilizado o modelo *TensorflowLite*, que o comprime possibilitando utilizá-lo em microcontroladores com memória limitada. O equipamento realiza a análise e interpreta os sinais do usuário com indicações de estado de sono e sonolência. A figura 9 representa a continuação do funcionamento da RNA, partindo do ponto “1”, indicado na figura 7.

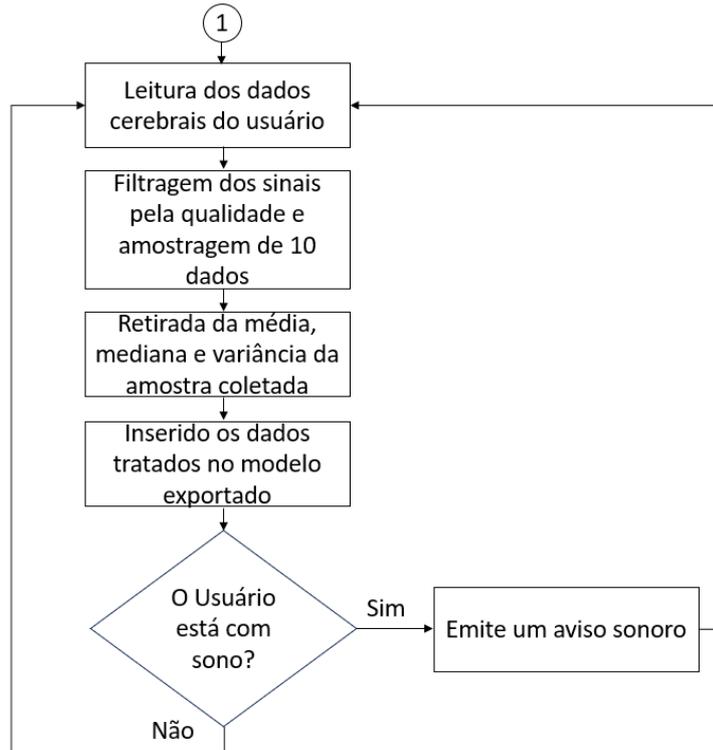


Figura 9: Fluxograma do funcionamento do sistema pós treino da rede neural artificial

Com a modelagem já inserida no sistema, o microcontrolador realiza a aquisição e filtragem dos dados, de forma que não haja ruído interferindo no sistema.

Após a leitura e filtragem dos dados, o sistema realiza de maneira automática a amostragem de 10 sinais cerebrais e retira suas métricas de média, variância e mediana. Estes dados são inseridos na rede neural. A saída da rede neural verifica se o usuário está com sono, e caso esteja, é emitido um aviso sonoro para alertá-lo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com base nos estudos realizados foi desenvolvido uma metodologia para a análise e interpretação dos sinais neurais, tendo os pontos FP1 e A1 do padrão 10-20 como referenciais para a adaptação de eletrodos externos e assim captar os sinais neurais do indivíduo analisado no momento. A interpretação dos sinais neurais obtidos neste projeto tem por objetivo a detecção e categorização dos estados de sonolência, meditação, concentração e atenção. Para isso, foi utilizada a conexão dos eletrodos a um chip eletrônico desenvolvido pela empresa Neurosky®, responsável por realizar o filtro dos sinais obtidos e transmiti-los ao microcontrolador ATMEL ATMEGA328p (presente na placa de desenvolvimento Arduino UNO) que, devidamente programado com o algoritmo de separação dos sinais filtrados, exhibe em um microcomputador os valores brutos referentes a todas as ondas cerebrais.

Visando classificar os estados neurais aos quais este projeto se dedica, foi desenvolvido um método de coleta e separação dos sinais em situações controladas. Quando o indivíduo analisado está sob condições de exaustão e sono foi utilizado o sistema para a coleta dos sinais neurais, assim como nas demais situações. A figura 10 representa como é feita a coleta e amostragem dos sinais neurais.

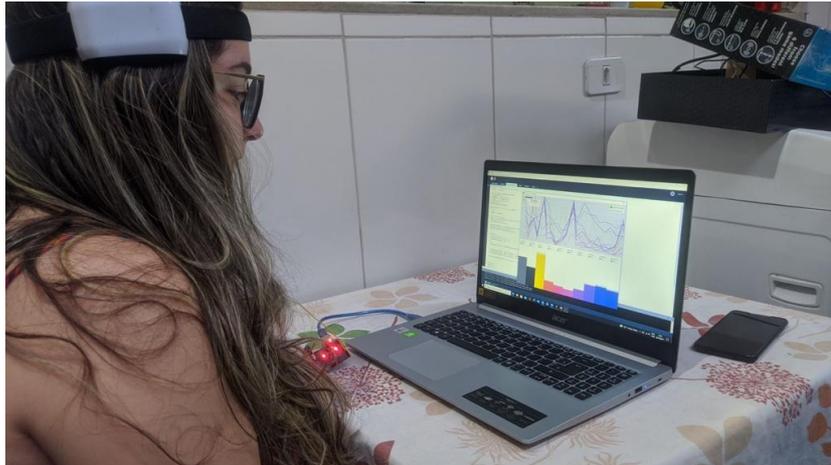


Figura 10: Demonstração do momento de coleta e amostragem dos sinais neurais
Fonte: (Autoria Própria, 2023)

Durante os testes realizados com diferentes indivíduos, pode-se notar que há a conformidade de variação dos sinais neurais em situações em que estes indivíduos foram submetidos. O “indivíduo A” em uma situação de sonolência possui variações e picos de ondas Delta e Theta, tendo seu estado claramente evidenciado assim como nos demais indivíduos que realizaram os testes, comprovando que a análise dos sinais está em conformidade com o que já é determinado pela neurociência. Porém, na análise dos valores brutos de cada sinal neural dos indivíduos, notou-se que há uma diferença entre os valores de picos de ondas neurais. Ou seja, mesmo tendo a conformidade entre a variação dos sinais neurais, estes por sua vez, não possuem o mesmo valor. Isto ocorre pelo fato de que mesmo estando sob as mesmas condições de testes, cada indivíduo possui seu próprio funcionamento biológico. A figura 11 demonstra a análise realizada com os valores brutos entre as ondas Low Alpha e High Alpha em estado de sono entre diferentes indivíduos, comparando as métricas de média, desvio padrão e mediana.

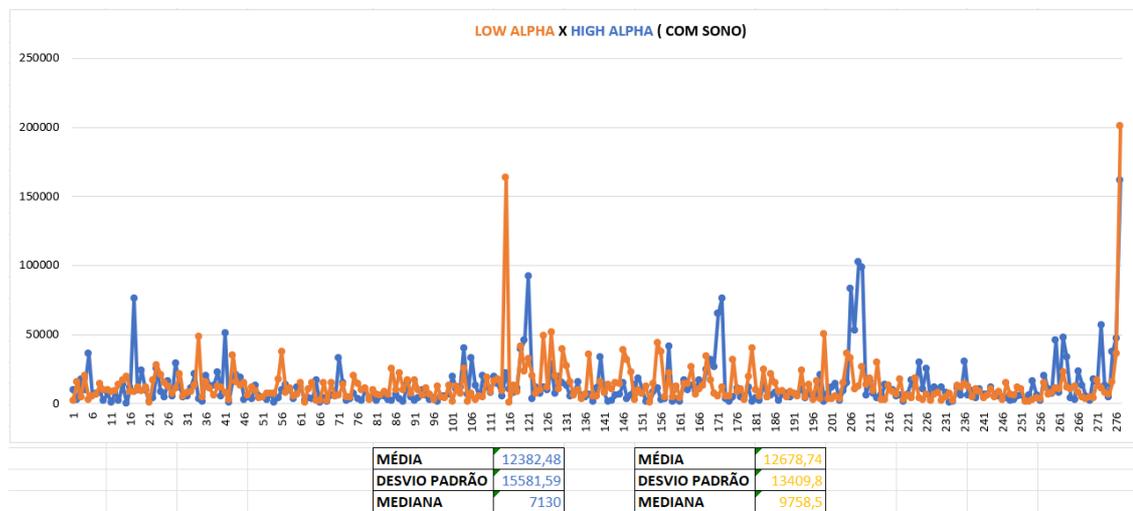


Figura 11: Momento de análise das ondas Low Alpha e High Alpha no estado de sono. Fonte: Autoria Própria

Desta forma, o grupo concentrou-se no desenvolvimento de um sistema sob medida para cada indivíduo, contendo um software de aprendizado utilizando RNAs (Redes Neurais Artificiais), sendo escolhida a MLP (Multi Layer Perceptron) em Python, que ao captar os sinais neurais, estes serão agrupados e devidamente catalogados. Após este processo, a Rede Neural Artificial é responsável por determinar o estado ao qual o indivíduo se encontra, podendo ser entre sonolência, concentração, atenção e meditação. Os dados obtidos são armazenados em nuvem nas plataformas Google Sheets e Colab, servindo como banco de dados e desenvolvimento de software em Python online de forma conjunta e automática. A figura 12 ilustra o fluxo de coleta, amostras, categorização e desenvolvimento de software.



Figura 12: Fluxograma representativo do funcionamento geral do projeto
 Fonte: (Autoria Própria, 2023)

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos ao longo do estudo proposto, devido ao único e individualizado comportamento neurobiológico humano, concluiu-se a necessidade de realizar o desenvolvimento de um produto sob medida para cada usuário, sendo aplicável em situações em que este encontra-se em situações de risco, como, por exemplo, um motorista entrando em seu estado de sonolência, ser alertado antes mesmo de aprofundar-se nesta situação, evitando acidentes. Também pode ser aplicado em situações que exigem atenção, concentração e meditação para melhoria do desempenho em uma atividade à qual o indivíduo está submetido.

Com as diversas possibilidades de aplicação, todo o sistema desenvolvido encontra-se em um headset com os eletrodos devidamente posicionados de forma estratégica e não invasiva, proporcionando ao usuário uma experiência definitiva e satisfatória da interpretação de seus sinais neurais, concluindo assim o objetivo do grupo no desenvolvimento da Análise e Interpretação dos Sinais Neurais.

6. REFERÊNCIAS

A. O. G. Barbosa, “**Controle de um manipulador robótico através de uma interface cérebro máquina não invasiva com aprendizagem mútua**” Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

Gabriel B. Vargas, Gabrielle M. B. Campos, Letícia T De Oliveira, Victoria O. Nazareth, Wallace P. Neves Dos Reis, “**Interpretação de Sinais Neurais Utilizando Sensores EEG e Raspberry Pi 3**”, Instituto Federal de Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, campus Volta Redonda, 2018.

Rajesh P. N. Rao, Teacher of Computer Science and Engineering, Adrienne Fairhall, Associate Professor Physiology and Biophysics, “**Computational Neuroscience**”, course by University of Washington, 2020.

Rocilene Otaviano Dos Santos, “**Estrutura e Funções do Córtex Cerebral**”, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/2421>>. Acesso em: 28/07/2023.

Sörnmo, L. e Laguna, P. **Bioelectrical Signal Processing in Cardiac and Neurological Applications**. Publicação acadêmica, 1. ed. Elsevier, 2005.

Sanei, Saeid e Chambers, J.A. **EEG Signal Processing**. Centre of Digital Signal Processing, Cardiff University, UK. Publicação acadêmica, 1. ed. Elsevier, 2005. Publicação, John Wiley & Sons, 2007

BEAR, Mark F; CONNORS, Barry W; A PARADISO, Michael. **Neurociências: desvendando o sistema nervoso**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017. 1016 p.

KANDEL, Erick R et al. **Princípios de Neurociências**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014. 1531 p.

BEAR, Mark F et al. **Neuroscience – Exploring the Brain**, 3. ed. Lippincott Williams & Wilkins, Estados Unidos da América, 2007.