

## **Análise e interpretação de sinais neurais para utilização eletroeletrônica**

### **Analysis and interpretation of neural signals for electrical and electronic applications**

DOI:10.34117/bjdv8n7-115

Recebimento dos originais: 23/05/2022

Aceitação para publicação: 30/06/2022

#### **Isabella Lanes Rocha**

Bacharel em Engenharia Elétrica

Instituição: Faculdade de Engenharia de Resende, Associação Educacional Dom Bosco

Endereço: Av. Crl Prof Antônio Esteves, 1, Campo de Aviação, Resende - RJ,

CEP: 27523-000

E-mail: isabella.rocha@aedb.br

#### **Ítallo Rocha Generozo**

Bacharel em Engenharia Elétrica

Instituição: Faculdade de Engenharia de Resende, Associação Educacional Dom Bosco

Endereço: Av. Crl Prof Antônio Esteves, 1, Campo de Aviação, Resende - RJ,

CEP: 27523-000

E-mail: Itallo.generozo@aedb.br

#### **Natan Cerqueira Amorim**

Bacharel em Engenharia Elétrica

Instituição: Faculdade de Engenharia de Resende, Associação Educacional Dom Bosco

Endereço: Av. Crl Prof Antônio Esteves, 1, Campo de Aviação, Resende - RJ,

CEP: 27523-000

E-mail: natan.amorim@aedb.br

#### **Ramon Alves dos Santos**

Mestrado Engenharia Eletrônica

Instituição: Associação Educacional Dom Bosco

Endereço: Av. Crl Prof Antônio Esteves, 1, Campo de Aviação, Resende - RJ,

CEP: 27523-000

E-mail: ramon.alves@aedb.br

### **RESUMO**

Com a evolução tecnológica, cada vez mais os seres humanos compartilham de interação com equipamentos eletrônicos. Desde televisão e computadores até mesmo membros protéticos que têm se desenvolvido e se tornado cada vez mais próximos a membros normais. Também é perceptível o aumento do uso de realidades virtuais e sistemas de monitoramento como interface homem-máquina, criados através de tecnologias eletroeletrônicas que estão em constante evolução. O presente artigo tem por objetivo contextualizar o conceito da evolução tecnológica em respeito à neurociência computacional a partir do funcionamento do sistema nervoso central humano, tendo como base os sinais neurais elétricos, sua relação com o mundo no qual compartilhamos a vivência diária e a possibilidade do controle deste mesmo mundo. Também é apresentado

a iminente interação humana com máquinas e equipamentos eletrônicos através do pensamento, desta forma atingindo um novo patamar no desenvolvimento, interação homem-máquina e conseqüentemente nos processos produtivos e evolutivos.

**Palavras-chave:** sinais neurais, cérebro, EEG, eletrônica, sinapses.

## **ABSTRACT**

With technological evolution, more and more human beings share interaction with electronic equipment. From television and computers to even prosthetic limbs that have developed and become closer and closer to normal members. It is also noticeable the increased use of virtual realities and monitoring systems as a human-machine interface, created through electronic technologies that are constantly evolving. This article aims to contextualize the concept of technological evolution in respect of computational neuroscience from the functioning of the human central nervous system. Ending as a basis the electrical neural signals, its relationship with the world in which we share the daily experience and the possibility of controlling this same world. It is also presented the imminent human interaction with electronic machines and equipment through thought, thus reaching a new level in development, human-machine interaction and consequently in productive and evolutionary processes.

**Keywords:** neural signs, brain, EEG, electronics, synapses.

## **1 INTRODUÇÃO**

O ser humano desde sua percepção nata de consciência busca a constante evolução. É possível notar os grandes esforços realizados ao longo da história com a busca de métodos para resolução de problemas e a automação destes. Com o desenvolvimento de máquinas e novas tecnologias, houve um impulso à constante evolução na forma de agir e interagir no meio em que o ser humano vive. São grandes os investimentos realizados na busca de cada vez mais obter controle e monitoramento dos meios e processos existentes, desde o primeiro computador, até métodos remotos de controle que utilizam a grande interação com a internet, chamados IoT (Internet of Things). Com o desenvolvimento da tecnologia da Internet das Coisas, a Indústria 4.0 tornou-se uma necessidade para observar e processar big data em quase todas as áreas da vida (K.A. Gündüz, F. Başçiftçi, 2022).

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 (A. O. G. BARBOSA, 2010).

Porém, a constante evolução tecnológica desenvolvida, tem se atentado em muitos aspectos a acesso remoto e controle por voz. Nota-se que poucos destes projetos resolveram problemas como a paralisia e perda de membros do corpo na sua totalidade. Assim, tais tecnologias se tornam supérfluas para parte da população, pois estas não usufruem dos benefícios alcançados. A dependência de tetraplégicos em atividades simples do cotidiano desencadeou o questionamento de como pequenos problemas ainda não foram resolvidos, ou utilizam sistemas caros, os tornando inviáveis à grande parte da população (Gabriel B. Vargas, Gabrielle M. B. Campos, Letícia T De Oliveira, Victoria O. Nazareth, Wallace P. Neves Dos Reis, 2018). É necessária uma evolução onde pessoas portadoras de deficiência possam levar uma vida com aproveitamento total do meio, conseguindo assim alcançar um novo patamar na evolução da espécie.

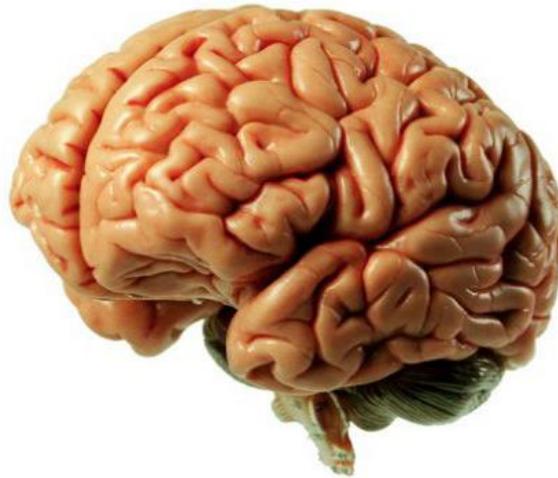
## **2 FUNCIONAMENTO NEUROBIOLÓGICO**

### **2.1 CÉREBRO**

O órgão mais importante do sistema nervoso central, que traz a consciência de quem o ser humano é, sendo responsável pelo gerenciamento de todas as atividades que o corpo executa, este é o cérebro. Desde a criação de uma pesquisa complexa, escrita de um artigo, prática de atividades físicas, batimento do coração, piscar dos olhos e capacidade de demonstração emocional – Todas as atividades são devidamente organizadas e dirigidas por este órgão dividido em dois hemisférios com peso aproximado de 1,5 quilogramas.

Com o foco voltado à pesquisa do seu funcionamento e interação com o mundo externo, é possível cada vez mais notar sua complexidade. Não obstante, com o avanço tecnológico, a forma de estudo e caracterização do seu funcionamento se dá através da neurociência. Esta ciência se aprofunda no funcionamento das células cerebrais, chamadas de neurônio, que emitem sinais e impulsos elétricos a partir de suas interações.

Figura 1: O cérebro humano



Fonte: <https://www.anatomiaemfoco.com.br/sistema-nervoso/cerebro/>

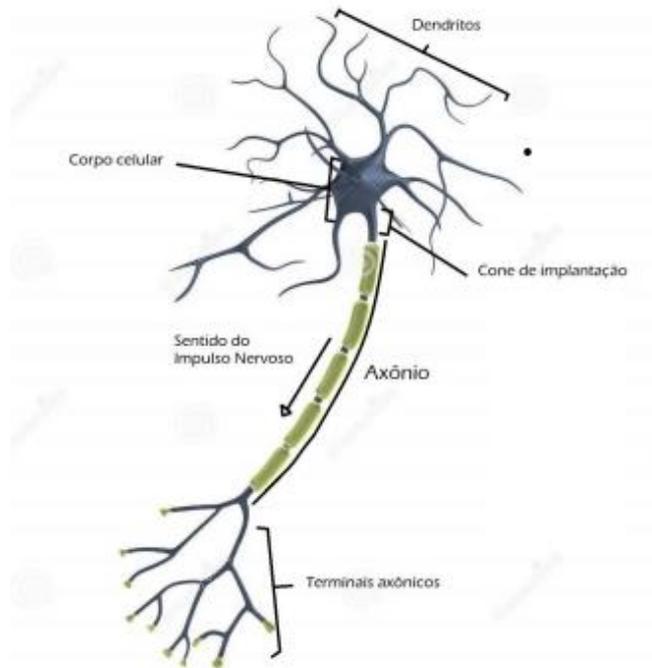
## 2.2 NEURÔNIO

O neurônio é a célula base do cérebro. Sua estrutura funcional caracteriza o funcionamento do sistema nervoso. Cada uma dessas células estabelecem uma conexão entre si, criando uma grande cadeia de interação ao receber estímulos provenientes do ambiente externo ou do próprio organismo. Estima-se que o ser humano possui cerca de 86 bilhões de neurônios em funcionamento no sistema nervoso, podendo ser classificados em três tipos: receptores, motores e associativos. Os neurônios receptores recebem estímulos sensoriais e conduzem o impulso nervoso. Os neurônios motores transmitem os impulsos motores (respostas ao estímulo). Os neurônios associativos estabelecem as ligações entre os neurônios receptores e os neurônios motores. Desta forma, é possível notar como estas células são extremamente pequenas e ao mesmo tempo de total importância para o órgão principal, cérebro.

### 2.2.1 Estrutura Celular Neural

A estrutura do neurônio em geral se resume ao corpo celular, que acomoda o núcleo e as organelas celulares; 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 dendritos, que são ramificações tanto do corpo celular quanto do axônio e realizam a comunicação entre os neurônios, conforme demonstrado na Figura 2. Esta comunicação entre os neurônios é chamada de Sinapse. E é por meio das sinapses, que através do estímulo interno ou externo, um comando passa de um neurônio para outro, sendo direcionados à sua devida função.

Figura 2: Estrutura celular do neurônio

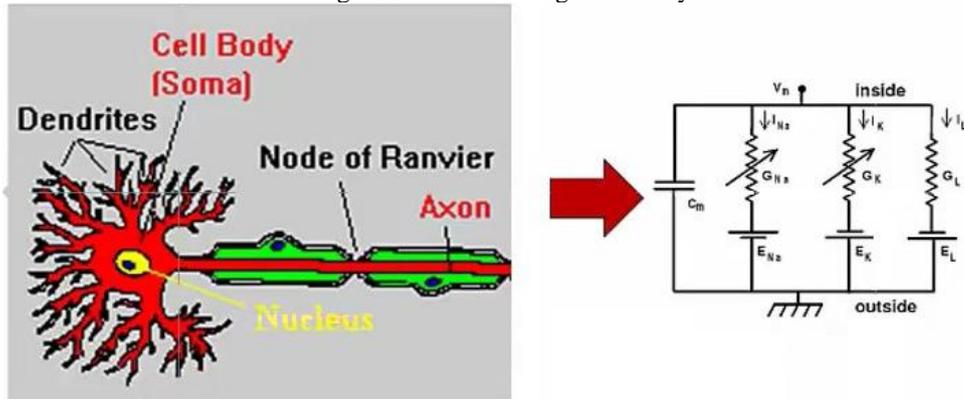


Fonte: <https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/2421>

### 3 MONITORAMENTO DA ATIVIDADE CEREBRAL

A atividade cerebral gerada através da interação elétrica entre os neurônios produz ondas eletromagnéticas e estas por sua vez possuem alterações, como na frequência, comprimento, amplitude e o período. As ondas são medidas em ciclos por segundo, 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). 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. Este avanço possibilitou a engenheiros e físicos o desenvolvimento de projetos e protótipos baseados na forma e comportamento biológico.

Figura 3: Modelo Hodgkin-Huxley



Fonte: (Computational Neuroscience - Course by University of Washington)

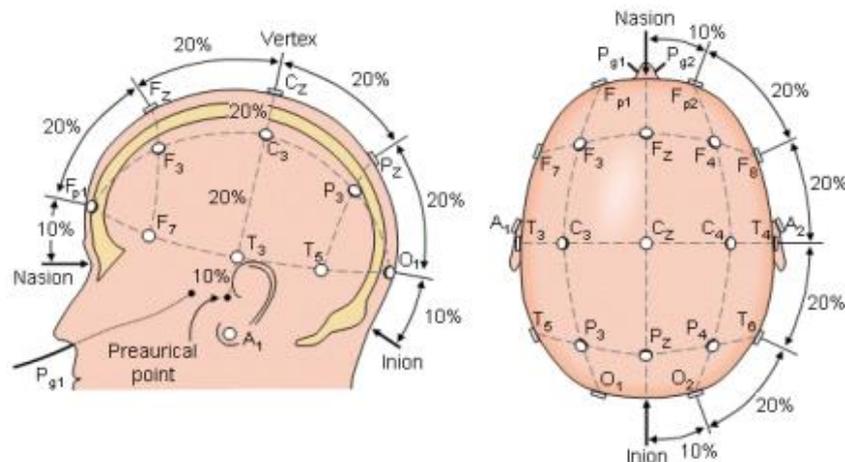
Na década de 1970, o projeto liderado pelo Dr. J. Vidal criou o primeiro protótipo de interface cérebro-computador. Nos anos que se seguiram uma boa quantidade de empresas começaram a investir no estudo na atividade mental com um Eletroencefalograma (EEG). As direções e a evolução da interface cérebro-computador dependem da identificação dos sinais.

Com a melhora da capacidade de controle e mitigação de interferências externas, tornou-se possível definir os sinais necessários e criar algoritmos capazes de realizar a tradução das ondas cerebrais de forma eficiente. Para que essa comunicação seja possível é necessário o uso de equipamentos para a captação dos sinais cerebrais. A principal estratégia adotada é o uso do EEG, aparelho mais usado e estudado, por suas características de custo-benefício, portabilidade e rápida resposta. O modelo atual de EEG utiliza o sistema padrão internacional 10-20. O sistema 10-20, demonstrado na Figura 3, padronizou a maneira correta e mais eficiente de captação dos sinais neurais, garantindo 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 4: Pontos de medição sistema internacional 10-20



Fonte: (MALMIVUO & PLONSEY, 1995)

### 3.1 ONDAS CEREBRAIS

Cada indivíduo tem sua própria característica de atividade cerebral, porém é possível achar os padrões básicos de cada estado. Com a padronização torna-se viável o estudo dos estados básicos de consciência, sendo eles: Beta, Alpha, Teta e Delta. É possível distinguir cada uma destas ondas com base na atividade que está sendo realizada e qual estado mental ela possivelmente indica. Quando estudada por um especialista, a atividade cerebral pode indicar certas disfunções cerebrais, tumores, epilepsia dentre outros males.

Com a análise realizada a partir de um EEG, também é possível distinguir as ondas eletromagnéticas geradas pelo cérebro de acordo com a atividade à qual está sendo realizada. Com base nos padrões de estado das ondas cerebrais, estudos recentes – À exemplo do artigo publicado na VAEP-RITA Vol. 7, Núm. 4, nov. 2019 por Ana Rita Teixeira, Anabela Gomes, Joana Eloy, António José Mendes “Um estudo exploratório de BCIs no Ensino e Aprendizagem de programação (2019)” demonstram variações em duas destas (Beta e Gamma), sendo assim as ondas cerebrais podem ser divididas e caracterizadas nos seguintes estados:

- Delta (1-3) Hz: Remete à Consciência expandida, Cura e Recuperação
- 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

### **3.1.1 Delta**

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.

### **3.1.2 Theta**

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. Nesse estado acontecem flashes das imagens do inconsciente, surtos criativos e memórias há muito tempo “esquecidas” que são ativadas. O estado de Theta seria semelhante a um estado profundo obtido com meditação. A faixa de frequência das ondas Theta está entre 4 e 7 Hz.

### **3.1.3 Alpha**

No estado Alpha o corpo libera a sua capacidade de entrar em um estado de dormência e assim acessando estados de consciência. Ao relaxar o corpo experimenta uma sensação de paz e bem-estar, a atividade cerebral vai baixando rapidamente e entrando na onda Alpha. A faixa de ondas Alpha gira entre 7 e 12 Hz.

### **3.1.4 Beta**

As ondas Beta atuam em funções cognitivas. Ao se concentrar para executar as tarefas, os neurônios vão transmitir as informações o mais rápido possível e assim permitir o alcance do estado de concentração, permitindo uma melhora da acuidade visual e coordenação. A faixa de frequência das ondas Betas gira em torno de 14 e 30 Hz.

### **3.1.5 High Beta**

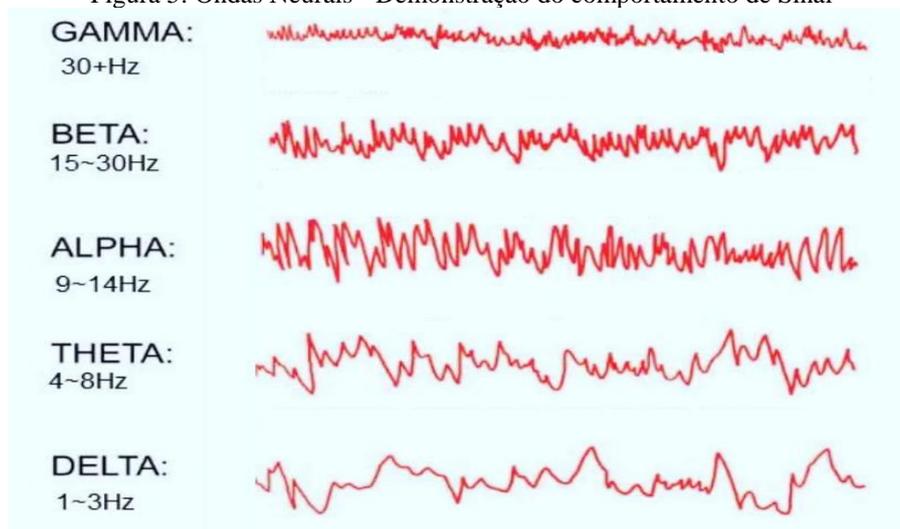
A onda denominada como High Beta tem mesma área de atuação em suas funções da Beta, porém com faixa de frequência de 18 e 30 Hz. Esta faixa indica uma “atenção” especial à atividade de cognição dos membros inferiores do corpo humano.

### 3.1.6 Gamma

As Ondas Gamma atendem estados de consciência, como o processamento cognitivo atento (por exemplo, focar um problema) ou a percepção atenta.

O estado Gamma atinge uma frequência de 31 Hz a 50 Hz. No momento que o cérebro tem a necessidade de processar várias informações ao mesmo tempo promove a interação das áreas necessárias do cérebro para um processamento de 40 Hz. Nesta etapa surgem os estados comportamentais *Low Gamma*: processamento multissensorial e integração de pensamentos. Quando se atinge o nível de variação de frequência na faixa de 41 Hz a 50 Hz. É a última “etapa” do estado Gamma, denominado de *High Gamma*. Nesta etapa é perceptível a influência nas correlações fisiológicas e tratamento de tarefas complexas.

Figura 5: Ondas Neurais - Demonstração do comportamento de Sinal



Fonte: <https://neurofeedbackalliance.org/understanding-brain-waves/>

## 4 DESENVOLVIMENTO

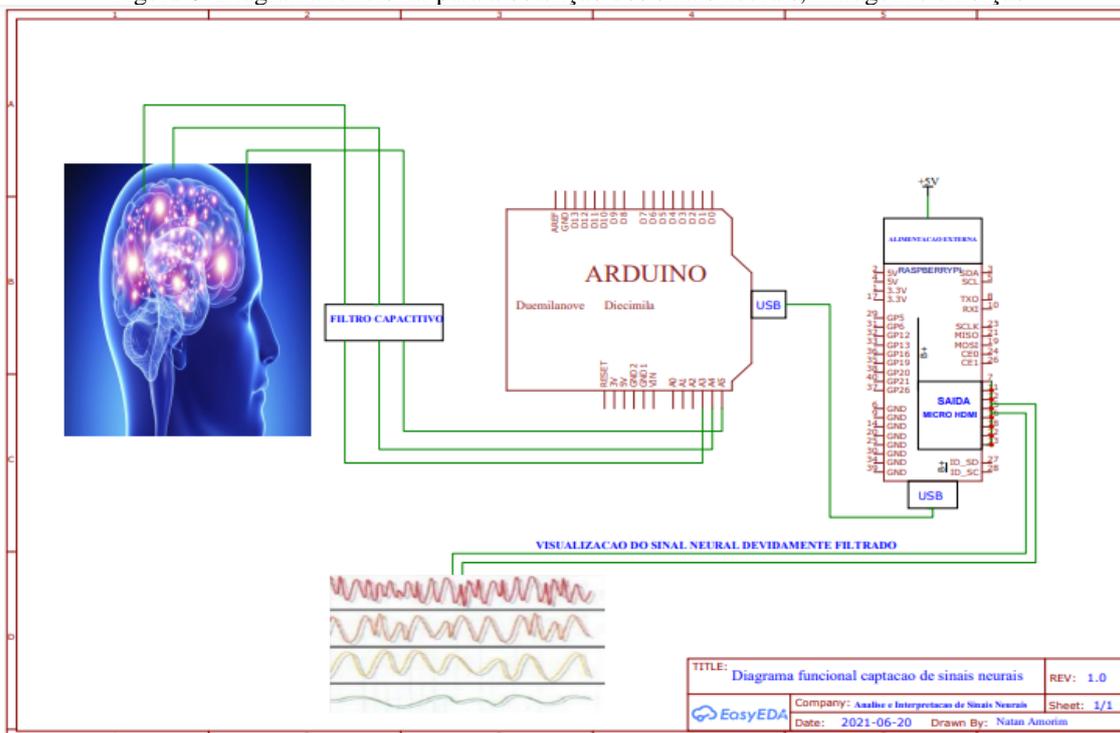
Com base nos estudos realizados e com os dados apresentados, é possível observar que o uso da frequência das ondas neurais se torna cada vez mais viável para realizar projetos estudos na área da neurociência – desde um EEG até mesmo à um protótipo eletrônico com microcontroladores e/ou microprocessadores.

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.

Para este fim, foi desenvolvido inicialmente um método para a aquisição dos sinais neurais, conforme demonstrado na Figura 6.

Figura 6: Diagrama funcional para a obtenção dos sinais neurais, filtragem e exibição



Fonte: (Autoria Própria – EasyEDA®, 2021)

## 4.1 MATERIAIS UTILIZADOS

### 4.1.1 Headset Mindflex

Para a aquisição dos sinais neurais, foi utilizado o headset Mindflex, produzido e distribuído pela Mattel ® em países da América do Norte e Europa. Foi escolhido este modelo de Headset pois possui um método de aquisição não invasivo, eficiente e prático.

Em sua construção, é possível observar o eletrodo localizado na posição Fp1 e um ponto de referência neutro para estabilização dos sinais no ponto A1, do padrão 10-20. No circuito eletrônico, o chip Neurosky, age como filtro capacitivo, receptor e processador dos sinais obtidos pelo eletrodo. É possível observar na Figura 7 a construção eletrônica em SMD do sistema integrado de aquisição dos sinais neurais com o headset Mindflex ®.

Figura 7: Headset Mindflex e sua arquitetura Eletrônica utilizada no projeto



Fonte: (Mattel® Neurosky Headset, 2021)

#### 4.1.2 Arduino UNO – ATMEGA 328

Para a comunicação e controle dos sinais captados e filtrados pelo Headset, foi utilizado o protocolo de comunicação serial UART na placa de desenvolvimento Arduino, com o microcontrolador ATMEGA 328. A partir da programação algorítmica em C++ desenvolvida no IDE do Arduino, é possível identificar e categorizar os sinais neurais por comunicação USB com um computador.

Figura 8: Arduino UNO, com seu microcontrolador ATMEGA 328 utilizado no projeto



Fonte: (Arduino, 2021)

### 4.1.3 Software Para Desenvolvimento Gráfico

Com a comunicação entre o Headset, microcontrolador ATMEGA 328 e o microcomputador com a IDE do Arduino devidamente configurada, foi obtido com sucesso os sinais neurais do indivíduo analisado em cada momento. Com o objetivo obter uma geração gráfica, foi utilizado o código em Open Source desenvolvido por Erik Mikka, editado por Atahualpa Bastos, posteriormente adaptado e editado pelos membros do grupo deste projeto.

O algoritmo foi desenvolvido na linguagem de programação Java para a IDE do software Processing, ideal para a plotagem gráfica com comunicação em tempo real à IDE desenvolvida para o Arduino, assim mantendo um ciclo de atualização dos dados captados pelo eletrodo do Headset, microcontrolador ATMEGA 328, microcomputador, IDE Arduino e IDE Processing.

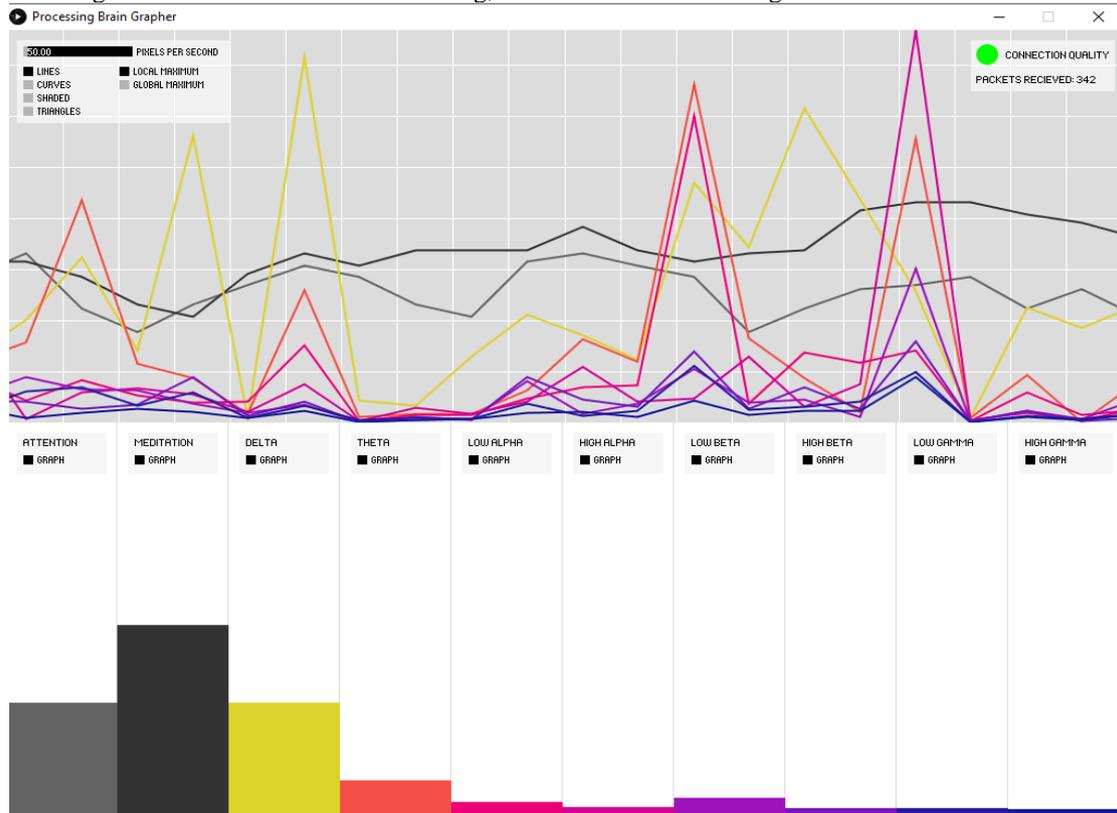
Na figura 9, é possível observar o primeiro momento de utilização do sistema desenvolvido, com a captação dos sinais neurais dos três membros do grupo: Isabella Lanes Rocha, Ítallo Rocha Generozo e Natan Cerqueira Amorim. Na figura 10 é possível observar a interface do software Processing na plotagem gráfica com as ondas neurais.

Figura 9: Membros do grupo no momento da captação de seus respectivos sinais Neurais



Fonte: (Autoria própria, 2021)

Figura 10: IDE do software Processing, demonstrando a amostra gráfica de cada sinal neural

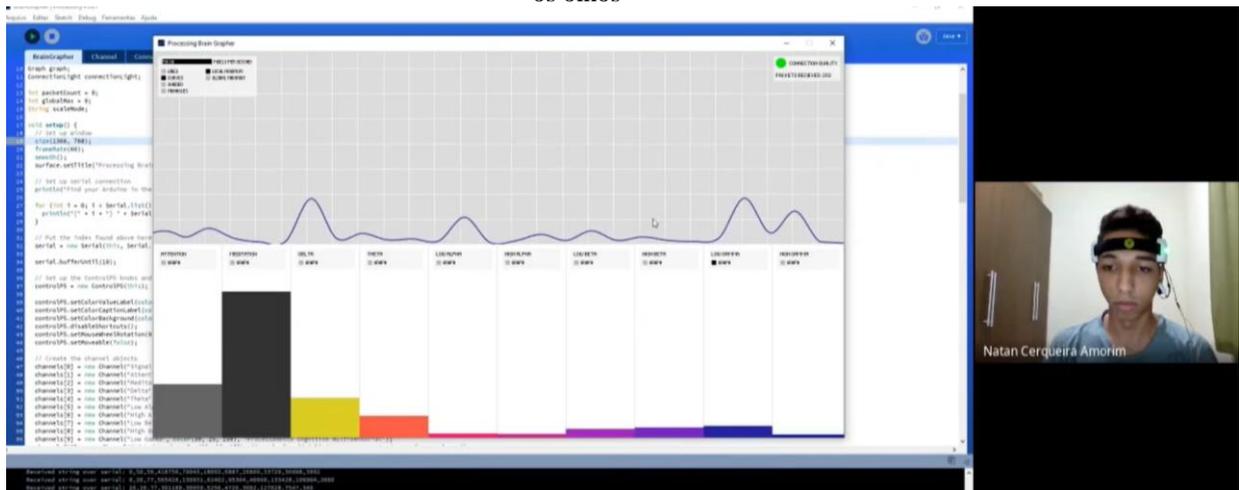


Fonte: (Autoria própria - Processing, 2021)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Com o sucesso na captação e plotagem gráfica dos sinais neurais por indivíduo, é possível realizar a análise destes para a identificação de padrões de comportamento cerebral tendo por base as ondas provenientes da interação eletromagnética. Para atingir este objetivo, foi realizada uma bateria de testes para categorizar o padrão de onda neural para o movimento dos membros do corpo que demandam atividade muscular. Foi utilizado como referencial, o movimento dos olhos, sendo neste caso aprofundado o comportamento da onda neural Low Gamma, responsável pelo processamento multissensorial nos seus picos de (31-40) Hz. Os sinais estudados foram provenientes do membro do grupo, Natan Cerqueira Amorim. A figura 11 demonstra um dos momentos de captação dos sinais.

Figura 11: comportamento da onda neural Low Gamma – Observação do padrão de onda ao movimentar os olhos



Fonte: (Autoria Própria – Processing, 2021)

Foi utilizada uma rede neural artificial Perceptron Multicamadas (MLP) desenvolvida em Python, orientado pelo professor Ramon Alves dos Santos. Assim, é possível utilizar os resultados provenientes da análise das ondas neurais para treinamento da rede neural artificial, essa por sua vez busca os valores correspondentes ao sinal estudado e retorna se no momento de análise em questão, houve ou não o movimento dos olhos.

## 6 CONCLUSÃO

A proposta definida de Análise e interpretação dos sinais Neurais foi atingida com sucesso. O uso do Headset contendo o eletrodo acoplado ao circuito eletrônico do chip Neurosky, tornou possível a análise das ondas neurais devidamente filtradas e ainda a padronização delas via software.

Dessa forma, a análise detalhada da atividade neural, aplicada aos demais padrões de ondas cerebrais é cada vez mais objeto de estudo e aprimoramento a identificação, análise e interpretação dos sinais neurais. Por fim, sendo possível realizar a utilização destes padrões encontrados e devidamente categorizados, para o controle eletroeletrônico por meio, da atividade do órgão principal do sistema nervoso central, o cérebro.

## REFERÊNCIAS

**Ana Rita Teixeira, Anabela Gomes, Joana Eloy, António José Mendes**, “Um estudo exploratório de BCIs no Ensino e Aprendizagem de programação”, VAEP-RITA Vol. 7, Núm. 4, novembro de 2019 EARLY ACCESS.

**ARDUINO**, ARDUINO Software - Download the Arduino IDE. Página de Internet. Disponível em: <<https://www.arduino.cc/en/software>>, Acesso em: 12/04/2021.

**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.

**Atahualpa\_Bastos\_Lelis**, “UTILIZAÇÃO DE ONDAS CEREBRAIS PARA CONTROLE DE COMPONENTES ELETRÔNICOS”, disponível em: [https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/atahualpa\\_bastos\\_lelis\\_0.pdf](https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/atahualpa_bastos_lelis_0.pdf), Acesso em: 12/04/2021.

**EasyEDA Software** – Download the EasyEDA Desktop cliente. Página de Internet. Disponível em: <<https://easyeda.com/page/download>>. Acesso em: 12/09/2020.

**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.

**Neurofeedback e Brainwaves**. Página de Internet. Disponível em: <<https://neurofeedbackalliance.org/understanding-brain-waves/>>. Acesso em: 01/04/2021.

**Neurosky**. Página de internet. Disponível em: <<http://neurosky.com/>>. Acesso em: 12/04/2021.

**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.

**Raspberry Pi**, Raspberry Pi 4. Página de Internet. Disponível em: <<https://www.raspberrypi.org/products/raspberry-pi-4-model-b/>>. Acesso em: 12/04/2021.

**Ritmos cerebrais, ondas neurais**. Página de Internet. Disponível em: <<https://www.brainlatam.com/blog/o-que-falam-os-ritmos-cerebrais-2058>>. Acesso em: 01/04/2021.

**Rocilene Otaviano Dos Santos**, “Estrutura e Funções do Córtex Cerebral”, 2002. Disponível em: <<https://repositorio.uniceub.br/jspui/handle/123456789/2421>>. Acesso em: 03/05/2021.

**Sistema nervoso, Cérebro**. Página de internet. Disponível em: <<https://www.anatomiaemfoco.com.br/sistema-nervoso/cerebro/>>. Acesso em: 31/03/2021.

**The Journal of Neuroscience.** Página de internet. Disponível em:  
<<https://www.jneurosci.org/>>. Acesso em: 12/04/2021.

**K.A. Gündüz, F. Başçiftçi,** “Monitoramento de pH com base em IoT para detecção de acidose ruminal”, Periódico. Disponível em:  
<<https://www.scielo.br/j/abmvz/a/Tynk37MCT6mwVBGMtttRkGt/?lang=en#>>. Acesso em: 03/05/202.