

# HACKEANDO A APRENDIZAGEM: REFLEXÕES SOBRE POSSIBILIDADES NA NEUROCIÊNCIA

Johseph Paballo Gomes de Souza<sup>1</sup>  
André Fernando de Oliveira Fermoseli<sup>2</sup>

Psicologia



ISSN IMPRESSO 1980-1769  
ISSN ELETRÔNICO 2316-3151

## RESUMO

Atualmente, o termo hacker refere-se às pessoas que não se contentam com o simples uso de uma ferramenta, querem ir além, explorando, construindo, e buscando entender como funciona aquilo com que estão trabalhando. Uma vertente dessa cultura é o Biohacking, que defende o emprego de recursos tecnológicos para aprimorar as capacidades humanas e alterar a forma como interagimos com o ambiente ao nosso redor. O objetivo deste trabalho é utilizar o método hacker para apresentar o processo de aprendizagem e propor meios de aprimorá-lo, modifica-lo, ou "hackeá-lo". Para isso serão apresentadas técnicas e instrumentos que poderiam ser empregadas para realizar a modulação de processos neuronais e funções cognitivas relacionados a aprendizagem. O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica sistemática realizada a partir de livros e artigos indexados nas bases de dados Scielo, PLOS, Pubmed e Science, nos idiomas português e inglês. No qual buscou-se selecionar artigos que apresentassem relevância e ineditismo nos resultados obtidos. As técnicas encontradas que podem ser utilizadas para "hackear" (alterar) os processos relacionados a aprendizagem podem ser divididas em dois grupos: Análise e neuromodulação. Dentre as técnicas de análise encontradas estão Imagem de Ressonância Magnética Funcional (*fMRI*), Magnetoencefalografia (*MEG*), Tomografia por Emissão de Pósitrons (*PET*, do inglês Positron Emission Tomography) e Eletroencefalografia (*EEG*). Dentre as técnicas de neuromodulação encontradas estão Estimulação Magnética Transcraniana (*EMT*), "Estimulação elétrica por meio de eletrodos invasivos", Transcranial sonication of focused ultrasound (*FUS*). Por fim, ressalta-se as dificuldades encontradas nas aplicações, sejam os sinais "artefatos" nos métodos de análise, ou a baixa especificidade das técnicas de neuromodulação, que acabam por dificultar a implementação de estratégias mais promissoras dentro da neurociência. Contudo, essas limitações estão muitas vezes deixadas de lado simplesmente pelo uso de uma metodologia diferenciada. A utilização de estratégias mais engenhosas como um jogo de perguntas e um sistema de respostas baseado em Led's, tem aberto novas portas para a implementação de outros tipos de abordagens.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Hackear. Aprendizagem. Atividade Sináptica. Neuromodulação.

## **ABSTRACT**

Currently, the term hacker refers to people who are not content with the simple use of a tool, want to go further, exploring, building, and seeking to understand how it works what are working. An aspect of this culture is the Biohacking, which advocates the use of technological resources to enhance human capabilities and change how we interact with the environment around us. The aim of this work is to use hacker method to present the learning process and propose ways to improve it, modify it, or "hack it". For that will be presented techniques and instruments that could be employed to perform neural processes modulation and cognitive functions related to learning. The present work it is a systematic literature review performed from books and articles indexed in Scielo databases, PLOS, Pubmed and Science, in Portuguese and English languages. In which to select articles to provide relevance and originality in the results obtained. The techniques found that can be used to "hack" (change) the related learning process can be divided into two groups: analysis and neuromodulation. One of the techniques of analysis found are Functional magnetic resonance imaging (IRMf), Magnetoencephalography (MEG), Positron Emission Tomography (PET, Positron Emission Tomography) and Electroencephalography (EEG). Neuromodulation techniques found are Transcranial Magnetic Stimulation (TMS), "Electrical Stimulation through invasive electrodes", Transcranial sonication of focused ultrasound (FUS). Finally, it should be noted the difficulties encountered in applications, are the signs "artifacts" in the methods of analysis, or the low specificity of the techniques of neuromodulation, which impede the implementation of the most promising strategies within neuroscience. However, these limitations are often cast aside simply by using a different methodology. The use of ingenious strategies as a game of questions and answers based on Led's, has opened new doors for the implementation of other types of approaches.

## **KEYWORDS**

Hack. Learning. Synaptic Activity. Neuromodulation.

## **1 INTRODUÇÃO**

Atualmente, a cultura hacker é uma das principais correntes de produção e disseminação de conhecimento extra-acadêmico. Diferente do que muitos pensam o termo hacker, hoje, refere-se a pessoas que não se contentam com o simples uso de uma ferramenta e querem ir além, explorando, construindo e buscando entender como funciona aquilo com que estão trabalhando. Além disso, a

cultura hacker prega, principalmente, a liberdade de acesso à informação e que todo conhecimento deve ser livre e gratuito (ARRUDA, 2011).

De acordo com Ogawa e Arruda (2012) a palavra hacker vem do inglês 'hack' que significa cortar em pedaços. Do mesmo modo o hacker busca dividir em partes, compartilhando desde o problema em si, até a solução deste. A premissa hacker leva em consideração que uma pessoa sozinha pode não ter todos os conhecimentos para resolver uma tarefa, mas ao compartilhar com os outros, alguém pode ter o conhecimento que falta e ajudar na resolução da tarefa, ou até mesmo dividir o trabalho entre várias pessoas, transformando algo impossível de ser realizado em algo realizável. Uma vertente dessa cultura é o *biohacking*, que defende o emprego de recursos tecnológicos para aprimorar as capacidades humanas e alterar a forma como interagimos com o ambiente ao nosso redor (PRETTO, 2010; SOUZA, 2014).

Atualmente, no meio científico, há interesse em hackear o cérebro humano. De acordo com Martinovic e outros autores (2011) foi descoberto que, por meio de um sistema de Interface Cérebro-Máquina (ICM) é possível extrair informações pessoais a partir da análise do sinal gerado pelos neurônios. O aparelho capta a atividade cerebral de alguns sujeitos, e a partir da análise desses dados os pesquisadores obtiveram informações, sobre os sujeitos, que nunca foram mencionadas. Informações como, por exemplo, os dígitos da senha do cartão.

O objetivo deste trabalho é utilizar o método hacker para apresentar o processo de aprendizagem e propor meios de aprimorá-lo, modificá-lo, ou "hackeá-lo". Para isso serão apresentadas técnicas e instrumentos que poderiam ser empregadas para realizar a modulação de processos neuronais e funções cognitivas relacionados a aprendizagem. Após isso, apresentar a efetividade da aplicação dessas técnicas em pesquisas recentes relacionadas ao compartilhamento de informações entre cérebro e máquina, chamado de Interface Cérebro-Máquina (ICM), ou o compartilhamento de informações entre dois cérebros, Chamado de *Brain-Brain Interface* (BBI).

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 COMO NÓS APRENDEMOS? RELAÇÃO DA APRENDIZAGEM COM OS PROCESSOS NEURAIS**

O que é aprendizagem? Quando paramos para pensar sobre isso percebemos o quão difícil é responder a essa pergunta, principalmente pela complexidade deste processo. Diversos manuais de psicologia trazem diferentes respostas para essa mesma pergunta. Cada qual apresenta diferentes fatores envolvidos, tais como modificações permanentes de comportamentos ou modificações de comportamentos derivadas de outras experiências.

Morgan (1977 APUD BRAGHIROLI, 2010) afirma que a aprendizagem é qualquer mudança relativamente permanente no comportamento, resultante de experiência ou prática. Percebe-se que estes conceitos trazem grande abrangência o que dificulta a aplicação do método 'hacker'. Deste modo, para este trabalho, utilizaremos uma abordagem neurocientífica, realizando uma revisão de literatura de artigos e livros que descrevam as funções e o funcionamento do cérebro como um todo, para identificar quais processos neurais estão envolvidos com a aprendizagem.

## 2.2 O CÉREBRO: CAPACIDADES E FUNCIONALIDADES

Ao tocar piano, um pianista está percebendo o ambiente ao seu redor por meio da visão, tato, olfato e audição, está exercendo pressão sobre as teclas, realizando a sincronização das contrações para manutenção da postura, movimentando os braços e mãos executando uma série ordenada de notas, dentre dezenas de outras variáveis. Todos nós estamos recebendo diversos estímulos e respondendo a eles o tempo todo, sejam eles externos, do ambiente, ou internos, do nosso próprio corpo. Do mesmo modo o processo de aprendizagem é influenciado por diversos fatores, sejam eles relacionados à percepção dos estímulos ou relacionados a funções, e cada um desses fatores é comandado pelo nosso cérebro.

De acordo com Lent (2010) apesar do seu pequeno tamanho, pesando aproximadamente 1,5 quilogramas, cerca de 2% do peso total do corpo, o cérebro é o órgão mais complexo do corpo humano e uma de suas principais funções é o processamento de informações. Lent (2010) fala ainda que a grande capacidade de processamento se dá pelo grande número de conexões. O cérebro humano dispõe de cerca de 100 bilhões de neurônios e alguns tipos podem chegar a estabelecer cerca de alguns milhares de sinapses.

Cada novo estímulo que chega ao nosso corpo gera alterações no padrão bio-elétrico, que são retransmitidas dos centros de percepção até o córtex, subdivididos em áreas com funções específicas. Essas funções podem ser divididas em quatro grupos: 1) Funções cognitivas: percepção, movimento, atenção, memória, fala e pensamento; 2) Funções conativas: motivação, emoções, temperamento e personalidade; 3) Funções executivas: inferência, resolução de problemas, organização estratégica, inibição seletiva do comportamento; e 4) Funções vegetativas básicas: circulação, ventilação, secreções e ajustes metabólicos em curto prazo (DIAMENT, 1983; ANDRADE, 2004; LENT, 2010).

Cabe ressaltar que, os processos mentais geralmente envolvem sistemas que atuam em conjunto, situando-se em áreas distintas do cérebro, de forma interdependente e hierárquica. Uma espécie de processamento distribuído, que apresenta um centro como referência. Desta forma, os processos psicológicos não seriam funções indivisíveis, mas, sim, sistemas funcionais complexos baseados no trabalho coordenado de um grupo de

zonas cerebrais, cada uma das quais dá a sua contribuição particular para a construção do processo psicológico complexo (LURIA, 1981; LURIA, 1966 APUD PIRES, 2010).

De acordo com Brandão (2004) uma das definições correntes no campo da neurociência indica que a aprendizagem corresponde à aquisição de novos conhecimentos do meio e, como resultado desta experiência, ocorre a modificação do comportamento. A aprendizagem, então, resulta da troca de informações entre o ambiente e os diferentes centros nervosos. Ou seja, começa a partir de um estímulo de natureza físico-química advindo do ambiente e por meio dos órgãos dos sentidos geram potenciais de ação (PA), que são alterações rápidas na polaridade elétrica dos neurônios. A este processo dá-se o nome de transdução. Assim, para prosseguirmos, torna-se necessário apresentar de que forma o cérebro processa os estímulos que recebe (PAULA, 2006; HAINES, 2006)

### 2.3 PROCESSAMENTO DE INFORMAÇÕES

Cada novo estímulo recebido por meio dos sentidos ativa uma grande quantidade de células. Primeiramente uma ativação eletrofisiológica de curta duração, seguida de transformações bioquímicas e estruturais mais duráveis nas sinapses. Essas mudanças são como uma forma do cérebro de se adaptar a novos estímulos, sendo que a presença constante do estímulo modifica o funcionamento de uma área que tente a facilitar a ativação das sinapses envolvidas com determinado estímulo.

Na primeira vez que vimos a cor verde, por exemplo, os fotorreceptores localizados na retina transduziram a energia luminosa, na forma de fótons, para potencial de ação. A partir disso, dependendo da intensidade do estímulo, será gerado na mesma proporção uma série de outros potenciais, levando a “informação” até o córtex occipital, responsável pelo processamento dos estímulos visuais, ao chegar ao córtex, será mobilizada uma determinada porção de neurônios. Ao ser repetido, todo esse processo de percepção do estímulo tende a ser integrado funcionalmente, produzindo, por consequência, facilitações sinápticas que tem a função de conservar a informação.

Essa integração de estímulos é chamada de engrama, que seria como uma unidade memorial. Cada vez que o estímulo é novamente apresentado, a transmissão do potencial de ação é processada com menos resistências e sem perdas. Assim, a manifestação física da aprendizagem e formação de novas memórias no cérebro, de acordo com Buxbaum (2014), pode ser expressa por meio do fortalecimento ou enfraquecimento das conexões sinápticas por meio de alterações morfológicas. São realizados arranjos no metabolismo proteico e de neurotransmissores, que servem para preparar a célula para disparar um novo potencial de ação, ou vários outros (LURIA, 1981; DIAMENT, 1983; HAINES, 2006; LUNDY-EKMAN, 2008; FUENTES, 2014).

A capacidade de realizar alterações funcionais e estruturais nas sinapses como resultado de processos adaptativos do organismo ao meio é chamada de neuroplasticidade e é de suma importância para aprendizagem, pois, é por meio da neuroplasticidade que o cérebro pode se adaptar aos estímulos e as situações (BRANDÃO, 2004).

## 2.4 LINGUAGEM E PERCEPÇÃO

Ao levar em consideração que estamos constantemente percebendo o ambiente ao redor por meio dos processos de percepção, de nada adiantaria a quantidade ou qualidade dessas informações, se não houvesse uma organização para essas informações. Elas acabariam ficando “soltas”, sem um real sentido e se perderiam com facilidade. Para armazenar é preciso processar, e para processar é preciso compreender, ou seja, é necessária uma linguagem para dar sentido ao que percebemos. Não é necessariamente preciso primeiro desenvolver uma linguagem para que possa organizar as informações percebidas, mas, uma “linguagem interior” de compreensão do mundo ao redor já seria uma forma de linguagem, o que mais uma vez apresenta a interdependência das funções e processos cerebrais (PAULA ET AL., 2006).

Sejam estímulos visuais, sensoriais ou quaisquer outros sempre há um envolvimento de um grande número de zonas cerebrais, cada zona desempenhando o seu papel particular na atividade perceptiva e dando a sua contribuição própria para a formação do processo perceptivo (LURIA, 1981).

De acordo com Luria (1981) a capacidade de processamento de informações esta intimamente associada às áreas ligadas a linguagem. A percepção humana é, portanto, um “complexo processo de codificação do material percebido e nunca acontece sem a participação direta da linguagem” (LURIA, 1981, p. 200).

O próprio processamento da linguagem apresenta-se de modo bastante complexo. De acordo com Pinel (2005) parece haver grandes diferenças na localização das áreas corticais da linguagem em diferentes indivíduos. Em cada pessoa a linguagem não é apenas processada em áreas específicas, mas formam uma rede de áreas pequenas, amplamente distribuídas e especializadas. Essas diferenças são causadas pelo fato de que outros sistemas funcionais podem processar dois tipos de informações, “[...] algumas das áreas do cérebro que participam da memória de curta duração e do reconhecimento de padrões visuais também estão claramente envolvidas na leitura” (PINEL, 2005 p. 445).

O sistema nervoso, em sua totalidade funciona de forma semelhante a uma orquestra. Da mesma forma que diferentes músicos tocam o mesmo tipo de instrumento para dar mais qualidade e potencia as notas de uma musica e os componentes da orquestra precisam tocar de forma harmônica e integrada, diferentes áreas do sistema nervoso processam “o mesmo estímulo” de forma integrada para alcançar um funcionamento ideal.

### 3 METODOLOGIA

O presente trabalho trata-se de uma revisão bibliográfica sistemática realizada a partir de livros e artigos indexados nas bases de dados Scielo, PLOS, Pubmed e Science, nos idiomas: português e inglês. Para a busca foram utilizados os seguintes descritores cadastrados no banco de dados dos descritores da saúde: Aprendizagem (Learning), Neurociência (Neuroscience), Atividade cerebral (Brain Activity). Foram também utilizados os descritores: hackear (Hack), Neuromodulação (Neuromodulation), que não estão cadastrados, mas que apresentaram grande relevância para a pesquisa.

Dentre os artigos encontrados, foram selecionados duas teses de doutorado, uma Tese de mestrado, vinte artigos científicos e oito capítulos de livros que caracterizassem e/ou discutissem o tema. Os critérios de inclusão foram: 1) Técnicas ou instrumentos de análise da atividade cortical; 2) Técnicas e instrumentos de modulação da atividade cortical; 3) Pesquisas com no máximo cinco anos de publicadas que apresentem a aplicação das técnicas de Análise e modulação da atividade cortical encontradas. O período de publicação dos artigos e livros encontrados foi de 1981 a 2015, no qual se buscou selecionar artigos que apresentassem relevância e ineditismo nos resultados obtidos.

### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base nas informações apresentadas, pode-se dizer que a aprendizagem é uma capacidade de adaptação do sistema nervoso em relação ao meio externo e do mesmo modo que o sistema nervoso desempenha diferentes funções com níveis de maior ou menor complexidade, a aprendizagem envolve diferentes processos neurais, tornando-os mais simples ou mais complexos. De acordo com Fonseca (1995 APUD PAULA, 2006) com relação aos processos neuronais, há três tipos de aprendizagens: simples, composta e complexas. As mais complexas, como a leitura, assentam-se sobre as compostas, como a discriminação e identificação visual de símbolos gráficos, que por sua vez, assentam-se sobre aprendizagens mais simples, como aquisição da postura bípede, aquisição de motricidade e capacidade de focalização da atenção.

Desta forma, o uso da tecnologia para a otimização desse processo, tem de levar em consideração diversos aspectos, são eles: totalidade e integração das funções e processos neurais; interdependência e coibição; hierarquia, levando em consideração a maturidade e complexidade de cada área; autorregulação; equilíbrio e harmonia; adaptabilidade ou modificabilidade; e finalmente, equifinalidade, ou seja, não existe um único modo de funcionamento correto, mas sim várias formas alternativas (FONSECA, 2014).

A atividade cerebral, ao ser levada em consideração, não pode ser percebida a olho nu, para realizar a modificação dos processos neurais torna-se necessário a utilização de técnicas e instrumento de análise e modulação da atividade cerebral. Na

parte da análise da atividade, seriam gravados os sinais gerados a partir da atividade de áreas específicas do córtex, como áreas relacionadas à linguagem, por exemplo, ou mais especificamente a fala, leitura e compreensão de sons, levando em consideração a integralidade dos processos e funções envolvidos na aprendizagem. Já a parte da Neuromodulação seria responsável pela estimulação ou hipoativação das áreas registrada pelas técnicas de análise envolvidas com a aprendizagem.

#### 4.1 ANÁLISE DA ATIVIDADE

A atividade cerebral em nível dos neurônios pode ser caracterizada pela passagem da corrente elétrica ao longo da estrutura do neurônio. Essa corrente provoca o surgimento de um campo magnético de baixíssima intensidade que, assim, favorece a sua detecção por meio de aparelhos de base eletromagnéticos, que muitas vezes são capazes de localizar com precisão de até 0,2mm que ou quais áreas estão sendo ativadas no momento. No córtex cerebral os sinais registrados são mais intensos, devido ao alto nível de processamento de informações e suas diversas funções, já mencionadas, que estão intimamente relacionadas com a aprendizagem (AZEVEDO, 2005).

De acordo com Ferreira (2008) diversos métodos podem ser utilizados para mensurar a atividade cerebral, isso inclui: Imagem de Ressonância Magnética Funcional (IRMf), Magnetoencefalografia (MEG), Tomografia por Emissão de Pósitrons (PET, do inglês Positron Emission Tomography) e Eletroencefalografia (EEG), sendo que cada um deles apresenta particularidades como custo baixo ou elevado e quantidade de equipamentos, que favorecem, ou não, sua aplicação.

Durante os estados de atividade cerebral ocorre um aumento da quantidade de oxigênio no local da atividade, por meio da vasodilatação, conseqüentemente há uma alteração no tipo de hemoglobina, que é o componente do sangue responsável pelo transporte e difusão de oxigênio no nível celular.

São dois os tipos de Hemoglobinas: Oxigenada (oxi-Hb) e a Desoxigenada (deoxi-Hb) e cada uma delas possui diferentes propriedades magnéticas, sendo a primeira diamagnética, ou seja, que não possui elétrons emparelhados e seu momento magnético permanente é nulo, e a segunda paramagnética, que possui suscetibilidade magnética cerca de 20% maior. Essa alteração faz com que diferentes regiões do cérebro apresentem características magnéticas diferentes dependendo do seu nível de atividade.

A magnetoencefalografia se utiliza da variação nos campos magnéticos ativos para determinar a localização da atividade neuronal com precisão na ordem dos milímetros. Esse processo é realizado por meio de dispositivos supercondutores chamado de SQUID (do inglês Superconducting Quantum Interference Device) (COVOLAN, 2004; AZEVEDO, 2005; THULBORN ET AL., 1982 APUD FONTES, 2012.)

A IRMf se utiliza dessa mesma variação dos campos magnéticos para produzir fotos ou “imagens” de estruturas e órgãos internos. Esse processo é realizado por meio de um potente magneto e ondas de radiofrequência. No caso da PET, são utilizados rádio fármacos injetados na corrente sanguínea, que emitem pósitrons que ao colidir com elétrons emitem radiação gama, que por sua vez é capturada pelos sensores que envolvem o paciente, sendo que o acúmulo de sinais vindos de vários sensores é o que determina a localização precisa da área transmissora. Embora a IRMf e a PET possuam método bastante preciso, apresentam baixa resolução temporal, ou seja, tem um tempo mais elevado se comparado com outros métodos, além disso seu custo é elevado devido os materiais e equipamentos utilizados (AZEVEDO, 2005).

De acordo com Luft (2006) o EEG é um dos métodos de mensuração da atividade cerebral mais eficientes e baratos. Consiste no registro da atividade elétrica cerebral, em diferentes regiões do córtex, realizado por meio de eletrodos posicionados em regiões específicas no escalpo. Os eletrodos podem também ser colocados diretamente sobre o córtex, num método chamado de eletrocorticograma (ECOG). Apesar de ser mais eficiente que o EEG, o ECOG tem certas restrições por se tratar método invasivo, que necessita de cirurgia para a colocação dos eletrodos (DIAS, 2009)

O grande problema do EEG é que, devido os eletrodos serem colocados na camada externa do corpo, o sinal eletroencefalográfico acaba contendo muitos ruídos, conhecidos como artefatos, que são oriundos de distintas partes do corpo.

Os principais artefatos são: fisiológicos, como o movimento dos olhos, musculatura em geral e ritmo cardíaco; e técnico, no qual pode haver interferência por causa de um mau contato dos eletrodos, ou movimento dos cabos. Muitas vezes, o ruído presente no sinal se torna maior do que o próprio sinal que se quer classificar, acabando por corromper o registro. Para isso são utilizados filtros de limpeza de ruído e algoritmos para deixar o sinal o mais específico possível. Além de identificar e isolar o sinal específico é necessário levar em conta o tipo de sinal que está sendo emitido, pois quem participa do EEG não está completamente focado em uma atividade, pelo contrario, normalmente esta pensando, e as vezes até movimentando alguma parte do corpo, o que pode gerar modificações no sinal recebido pelo EEG (FERREIRA, 2008).

## 4.2 ESTRATÉGIAS DE MODULAÇÃO DA ATIVIDADE CORTICAL

Tendo em vista que o cérebro está constantemente em atividade, torna-se necessária a aplicação de estratégias mentais de modulação da atividade cerebral, gerando sinais mais específicos (voluntários) para permitir que o sistema de análise possa registrar e interpretar as intenções do usuário, estes sinais são chamados de sinais de controle. Dentre as técnicas de controle de sinais mais utilizados ressalta-se a: *Steady State Visual Evoked Potentials (SSVEP)*, *P300 evoked potentials (P300)* (GRAI-MANN ET AL, 2010; ALONSO, 2012).

SSVEP são modulações da atividade cerebral que ocorrem no córtex visual após receber um estímulo visual. Neste, o tipo de estímulo pode variar a sua frequência, que podem ser transitório ou estável. Este tipo de estratégia é comumente usado devido facilidade com que pode ser detectado, uma vez que o estímulo esteja próximo do centro do campo visual do usuário o que gera uma reação no córtex visual (YIJUN, 2006; ALONSO, 2012)

O *Evoked Potentials* (P300) trata-se da evocação de potenciais corticais por meio de estímulos visuais ou auditivos. Sua aplicação, quando baseado em estímulos visuais, compreende uma matriz de letras, números, ou outros símbolos, organizados em forma de tabuleiro e enquanto piscam aleatoriamente o EEG é monitorado a fim de perceber os picos positivos causados por esse tipo de estímulo. (FERREIRA, 2008; ALONSO, 2012).

### 4.3 NEUROMODULAÇÃO

De acordo com Alonso (2012) as técnicas de modulação da atividade cortical são chamadas de técnicas de neuromodulação e alteram o funcionamento de áreas do córtex por meio da estimulação ou hipoativação. Dentre as técnicas de neuromodulação encontradas estão: Estimulação Magnética Transcraniana (EMT), Estimulação elétrica por meio de eletrodos invasivos, *Transcranial sonication of focused ultrasound* (FUS) (BURT ET AL., 2002; ALONSO, 2012; YOO ET AL., 2013).

A estimulação magnética transcraniana (EMT) é uma tecnologia que permite a modulação não-invasiva da excitabilidade e função cerebrais distintas de áreas corticais. A EMT utiliza campos magnéticos alternados para induzir correntes elétricas no tecido cortical. Nesta técnica, dois princípios eletromagnéticos são empregados: o primeiro é a geração de um campo magnético com uma corrente alternada (Lei de Ampere), e o segundo é a geração de uma corrente por meio de um campo magnético (Lei de Faraday) alternados. Estes dois princípios são representados sequencialmente nos dois passos que compõem o mecanismo de EMT. No primeiro uma bobina é colocada sobre o couro cabeludo e uma corrente alternada na bobina gera um campo magnético. No segundo, um campo magnético alternado passa livremente por meio do couro cabeludo e induz uma corrente secundária no tecido do cérebro abaixo da bobina (BURT ET AL., 2002).

A excitabilidade cortical pode ser aumentada ou diminuída a depender dos parâmetros da estimulação e as alterações podem ser transitórias ou possivelmente podem durar semanas. Além disso, dependendo do local e parâmetros de estimulação e a fisiologia do tecido cortical subjacente, diferentes alterações no comportamento podem ocorrer, incluindo o melhoramento ou interferência com o desempenho cognitivo (BURT ET AL., 2002).

No método FUS, é enviada energia acústica altamente focada para regiões profundas localizadas no cérebro, e tem sido utilizado na ablação (extração) térmica de tumores cerebrais e neurocirurgia funcional. Quando administrado no modo pulsado a energia acústica baixa, muito abaixo do limiar de cavitação ou térmica que pode danificar o tecido subjacente, FUS é capaz de modular a excitabilidade dos tecidos “sonicados”. Essa habilidade foi demonstrada em excitação/supressão dos córtices motores/visuais em coelhos. Além disso, FUS, provou-se como um meio versátil de neuromodulação não-invasivo na supressão da epilepsia induzida quimicamente e na alteração das concentrações extracelulares de neurotransmissores (YOO ET AL., 2013)

#### 4.4 APLICAÇÕES: BRAIN, BRAIN, BRAIN

Diversos trabalhos em neurociência têm demonstrado a aplicabilidade das técnicas acima citadas, mas alguns trabalhos destacam, mesmo que não intencionalmente, a efetividade do emprego dessas técnicas para sua aplicação na área da aprendizagem, são elas: Brain-Brain I, Brain-Brain II, Brain-to-Brain, Brain-to-text (YOO,2013; PAIS-VIEIRA ET AL., 2013; HERFF, 2015; STOCCO, 2015).

##### 4.4.1 Brain-Brain I

De acordo com Yoo (2013) foi utilizada a técnica FUS para modular a atividade neuronal de regiões específicas do cérebro. Na pesquisa foi investigada a possibilidade de utilizar uma ICM de base FUS de forma não invasiva para estabelecer uma ligação funcional entre dois cérebros de espécies diferentes, um humano e um rato, também chamada de Brain-Brain interface (BBI).

A implementação teve como objetivo traduzir a intenção do voluntário humano para estimular a área motora do cérebro de um rato responsável pelo movimento da cauda. Utilizando a estratégia SSVEP, o voluntário humano olhava para um lampejo de luz estroboscópica em um monitor, enquanto a atividade era gravada por meio da eletroencefalografia. O aumento da amplitude do sinal SSVEP foi tomado como gatilho para a entrega do pulso de FUS, de modo intermitente, para excitar a área motora de um rato anestesiado. A excitação induzia subsequentemente o movimento da cauda, que foi detectado por um sensor de movimento. A precisão da técnica foi de  $94,0 \pm 3,0\%$  com um intervalo de tempo igual a  $1,59 \pm 1,07$  segundos, desde o gatilho até a movimentação da cauda.

##### 4.4.2 Brain-Brain II

Nesta pesquisa, foi utilizada um BBI não-invasivo para, de certa forma, permitir que um voluntário chamado de *Inquirer* adivinhasse o objeto em que o outro voluntário chamado de *respondent* estava pensando, por meio de um jogo de perguntas.

Foi utilizada a eletroencefalografia (EEG) para detectar padrões específicos de atividade cerebral do *respondent*, e estimulação magnética transcraniana (EMT) para fornecer informações funcionalmente relevantes para o cérebro do *Inquirer*. O que difere este trabalho dos outros é a complexidade das tarefas executadas com a BBI, a quantidade de informação transferida entre dois cérebros e o processamento consciente da informação recebida (STOCCO, 2015)

No experimento, os dois participantes, *Inquirer* e “respondente”, jogaram um jogo de perguntas, no qual foi dado ao “respondente” um objeto (por exemplo, cão) que é desconhecido para o *Inquirer*, que tem de adivinhar. O *Inquirer* faz uma pergunta sobre o objeto, selecionando uma pergunta (usando um mouse) de perguntas exibidas em uma tela. A questão é então apresentada visualmente para o “respondente” por meio de uma interface web. O entrevistado responde “Sim” ou “Não” diretamente por meio de seus sinais cerebrais, prestando atenção a um dos dois LEDs que piscam (“Sim” = 13 Hz; “Não” = 12 Hz). O BBI usa EEG para decodificar a resposta do entrevistado, e um aparelho EMT para transmitir a resposta ao inquiridor, gerando uma percepção visual por meio da estimulação de “Sim” e a ausência de uma percepção de “Não”, por estas respostas o *Inquirer* vai descobrindo qual é o objeto (STOCCO, 2015).

#### 4.4.3 Brain-To-Brain

Nesta pesquisa, que de acordo com Pais-Vieira e outros autores (2013) caracteriza uma Brain-to-Brain Interface (BTBI), ou seja, uma interface entre dois cérebros, um rato nomeado de “decoder” aprendeu a fazer seleções de comportamento semelhantes aos de outro rato, nomeado de “encoder”, guiado apenas pela informação fornecida pelo cérebro do “encoder” ao realizar uma tarefa sensório-motora que o obrigava a escolher entre duas opções de estímulos. Essas informações foram transmitidas por meio de *intracortical microstimulation* (ICMS).

Na tarefa motora, o rato “encoder” tem de identificar um estímulo visual, sinalizado por um LED (círculo vermelho), e em seguida, acionar uma das duas alavancas para receber uma pequena recompensa (água). Enquanto isso, a atividade neural gerada a partir da tarefa é gravada e transmitida para o rato “decoder”, sendo o padrão de M1 (córtex motor) do “encoder” comparado a um padrão modelo, previamente construído, para gerar os padrões de microestimulação, que variavam em tempo real de acordo com o número de picos registrados a partir da área M1 do rato “encoder”.

Uma vez que microestimulação é entregue ao “decoder”, este teria de selecionar a mesma alavanca acionada pelo “encoder”. Se o rato “decoder” acionar a alavanca correta, ambos os ratos seriam recompensados. Assim, quando a transferência de informações entre os cérebros dos dois ratos foi bem sucedida, o rato “encoder” recebeu uma recompensa adicional que serviu como reforço positivo. Enquanto ratos “encoder” obtiveram uma taxa de acerto de  $96,06 \pm 1,14\%$ , os animais “decoder” tive-

ram uma taxa de acerto um pouco pior, mas significativamente acima do acaso  $62,34 \pm 0,59\%$  e  $P < 0,05$ , o que demonstrou sua efetividade (PAIS-VIEIRA ET AL., 2013).

#### 4.4.4 Brain-to-text

Nesta pesquisa foi demonstrado pela primeira vez que o discurso falado pode ser decodificada por meio de gravações de eletrocortilografia (ECoG). O sistema Brain-to-text consiste na leitura de sinais de eletrodos invasivos implantados no cérebro dos pacientes em áreas associadas com a fala e processamento de linguagem e o emprego de técnicas de reconhecimento automático de fala (ASR, do inglês automatic speech recognition) para distinguir as palavras nas quais um voluntário estava pensando por meio da leitura do sinal gerado a partir da leitura de um texto.

Apesar de ter um conjunto limitado de palavras em seu dicionário, Brain-to-text reconstrói frases ouvidas a partir de dados neurais, podendo alcançar uma taxa de erro de palavras menor que 25% e a taxa de erro de fonemas menor que 50%. Dentre as aplicações possíveis para esta técnica está, por exemplo, o favorecimento da comunicação para pessoas com incapacidade de fala, como no caso da Esclerose Lateral Amiotrófica (ELA). Outra possível aplicação seria a utilização do Brain-to-text no cotidiano, como "agenda mental" em que o programa digita as palavras nas quais se está pensando, o que de certo modo aumentaria a quantidade de informação que poderia ser escrita, ou até mesmo poderia substituir a digitação tradicional (HERFF, 2015).

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por fim, com base no conteúdo apresentado, observa-se que há diversas dificuldades na aplicação, tanto dos métodos de análise quanto de neuromodulação. Sejam sinais "artefatos" nos métodos de análise, ou a baixa especificidade das técnicas de neuromodulação, tendo em vista que só é realizada a estimulação ou hipoativação de áreas maiores e não especificamente de porções micro, acabam por dificultar a implementação de estratégias mais promissoras dentro da neurociência.

Contudo, assim como na pesquisa de Stocco (2015), essas limitações estão muitas vezes deixadas de lado simplesmente pelo uso de uma metodologia diferenciada. A utilização de estratégias mais engenhosas como um jogo de perguntas e um sistema de respostas baseado em Led's, tem aberto novas portas para a implementação de outros tipos de abordagens. Com o avanço das pesquisas e desenvolvimento e surgimento de novas tecnologias espera-se que essas barreiras encontradas vão sendo minimizadas a ponto que se tornem realizáveis técnicas até este ponto, impensáveis. Diante disto, é possível vislumbrar a possibilidade de aplicação das técnicas apresentadas para "hackear", no sentido de alterar ou modificar, os processos neuronais e funções cognitivas relacionados à aprendizagem, levando em consideração princípios como integralidade, modificabilidade, hierarquia e harmonia.

## REFERÊNCIAS

ALONSO, L. F. N.; GIL J. G. Brain computer interfaces, a review. **Sensors**, v.12, 2012. p.1211 -1279. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/1424-8220/12/2/1211>>. Acesso em: 4 fev. 2015

ANDRADE, V. M., SANTOS, F. H. **Neuropsicologia hoje**. São Paulo: Artes Médicas, 2004.

ARRUDA, F. **7 razões para hackear**, 2011. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/seguranca/10731-7-razoes-para-hackear.htm>>. Acesso em: 1 maio 2015.

AZEVEDO, A. P. **Estudo do sinal eletroencefalográfico (EEG) aplicado a interfaces cérebro-computador com uma abordagem de reconhecimento de padrões**. Universidade Federal do Espírito Santo, 2005. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_2344\\_DissertacaoMestradoAndersonPradoAzevedo.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_2344_DissertacaoMestradoAndersonPradoAzevedo.pdf)>. Acesso em: 24 set. 2015.

Braghirolli, E. M. **Psicologia Geral**. 30.ed. Petrópolis-RJ: Vozes, 2010.

BRANDÃO, M. L. **As bases biológicas do comportamento**: introdução à neurociência. São Paulo: Pedagógica e Universitária, 2004.

BURT T.; LISBANY S. H.; SACKEIM H. A. Neuropsychiatry applications of transcranial magnetic stimulation: ameta analysis. **Int J Neuropsychopharmacol**, v.5, n.10, 2002. p. 73- 103. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12057034>>. Acesso em: 26 out. 2015.

BUXBAUM, A.R.; WU, B.; SINGER, R. H. Single  $\beta$ -actin mRNA detection in neurons reveals a mechanism for regulating its translatability. **Science**, v.343, 2014. p.419-422. Disponível em: <<http://www.sciencemag.org/content/343/6169/419.short>>. Acesso em: 10 out. 2015.

COVOLAN, Roberto. *et al*. Ressonância magnética funcional: as funções do cérebro reveladas por spins nucleares. **Cienc. Cult.**, v.56, n.1, São Paulo, jan. 2004. Disponível em: <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252004000100027&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252004000100027&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 1 out. 2015.

DIAMENT, A. J. Neurofisiologia da aprendizagem. **Revisões & ensaios, pediat.**, v.5, São Paulo, 1983. p.83-93.

DIAS, N. S. **Interface cérebro-máquina baseada em biotelemetria eléctrodos secos**. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Electrónica e de Computadores) – Universidade do Minho, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/1822/9897>>. Acesso em: 1 fev. 2015.

FERREIRA, A. **Uma proposta de interface cérebro-computador para comando de cadeiras de rodas**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2008. Disponível em: <[http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_2854\\_TeseDoutoradoAndreFerreira.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_2854_TeseDoutoradoAndreFerreira.pdf)>. Acesso em: 8 fev. 2015.

FONSECA, Vitor da. Papel das funções cognitivas, conativas e executivas na aprendizagem: uma abordagem neuropsicopedagógica. **Rev. psicopedag.**, v. 31, n. 96, São Paulo, 2014. Disponível em: <[http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84862014000300002&lng=pt&nrm=iso](http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84862014000300002&lng=pt&nrm=iso)>. Acessos em: 22 nov. 2015.

FONTES, F. P. X. **Alterações da defaultmode network provocadas pela ingestão de ayahuasca investigadas por ressonância magnética funcional**. 2012. Dissertação (Mestrado em neurociência) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Pró-reitora de Pós-graduação, Natal, 2012. Disponível em: <<http://repositorio.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/17020/1/FernandaPXF DISSERT.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2015.

FUENTES, D. *et al.* **Neuropsicologia**: teoria e prática. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

GRAIMANN, B.; ALLISON, B.; PFURTSCHELLER, G. **Brain-Computer Interfaces**: A Gentle Introduction. 2010. Disponível em: <[http://www.springer.com/cda/content/document/cda\\_downloadaddocument/9783642020902-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1015086-p173959822](http://www.springer.com/cda/content/document/cda_downloadaddocument/9783642020902-c1.pdf?SGWID=0-0-45-1015086-p173959822)>. Acesso em: 31 jan. 2015.

HAINES, D. E. *et al.* **Neurociência fundamental**: com aplicações básicas e clínicas. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006.

HERFF, C. *et al.* Brain-to-text: decoding spoken phrases from phone representations in the brain. **Front Neurosci**, 2015. p.9. Disponível em: <<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fnins.2015.00217/full>>. Acesso em: 1 nov. 2015.

LENT, R. **Cem bilhões de neurônios**: conceitos fundamentais da neurociência. 2.ed. São Paulo: Atheneu, 2010.

LUFT, Caroline; ANDRADE, Alexandre. A pesquisa com EEG aplicada à área de aprendizagem motora. **Rev. Port. Cien. Desp.** v.6, n.1, Porto, jan. 2006. Disponível em: <[http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1645-05232006000100012&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.mec.pt/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1645-05232006000100012&lng=pt&nrm=iso)>. Acesso em: 2 out. 2015.

LUNDY-EKMAN, Laurie. **Neurociências**: Fundamentos para Reabilitação. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008

LURIA, A. R.. **Fundamentos de Neuropsicologia**. Tradução de Ricardo Juarez Aranha. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos; São Paulo: Universidade de São Paulo, 1981

MARTINOVIC, D. *et al.* **Song on the feasibility of side-channel attacks with brain-computer interfaces**, Proc. 21st USENIX Security Symp., 2012 Disponível em: <<https://www.usenix.org/conference/usenixsecurity12/feasibility-side-channel-attacks-brain-computer-interfaces>>. Acesso em: 22 set. 2015.

OGAWA, R. ARRUDA, R. A. A cultura hacker, o movimento software livre, as redes sociais e o trabalho associado. **Revista Eventos Pedagógicos**, v.3, n.2, maio-jul. 2012. p.430 – 442. Disponível em: <<http://sinop.unemat.br/projetos/revista/index.php/eventos/article/viewFile/660/509>>. Acesso em: 8 set. 2015.

PAIS-VIEIRA, M. *et al* A brain-to-brain interface for real-time sharing of sensori motor information. **Sci Rep. Nature Publishing Group**, 2013, doi:10.1038/srep01319. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23448946>>. Acesso em: 25 jan. 2015.

PAULA, G. R. *et al* Neuropsicologia da Aprendizagem. **Rev. Psicopedagogia**, v.23, n.72, 2006. p.224-231. Disponível em: <<http://pepsic.bvsalud.org/pdf/psicoped/v23n72/v23n72a06.pdf>>. Acesso em: 16 set. 2015.

PINEL, John. **Biopsicologia**. Tradução: Ronaldo Catado costa. 5.ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

PIRES, Emmy Uehara. Ontogênese das funções cognitivas: uma abordagem neuropsicológica. **Psicol. clin.**, v.22, n.2, Rio de Janeiro, 2010. p.225. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-56652010000200025&lng=en&nrn=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-56652010000200025&lng=en&nrn=iso)>. Acesso em: 1 out. 2015.

PRETTO, Nelson. Redes colaborativas, ética hacker e educação. **Educ. rev.**, v.26, n.3, Belo Horizonte, dec. 2010. p.305-316. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-46982010000300015&lng=en&nrn=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-46982010000300015&lng=en&nrn=iso)>. Acesso em: 3 set. 2015.

SOUZA, R. **Virando um ciborgue**, 2014. Disponível em: <<http://www.tecmundo.com.br/biotecnologia/60776-virando-ciborgue-conheca-biohacks-disponiveis-mercado.htm>>. Acesso em: 1 maio de 2015

STOCCO, A. *et al* Playing 20 Questions with the Mind: Collaborative Problem Solving by Humans Using a Brain-to-Brain Interface. **PLoS ONE**, v.10, n.9, 2015. Disponível em: <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4580467/>>. Acesso em: 1 nov. 2015.

YIJUN, W. *et al.* A practical VEP-based brain-computer interface. IEEE Trans. **Neural Syst. Rehabil. Eng.**, v.14, 2006. p.234-240. Disponível em: <<http://sccn.ucsd.edu/~yijun/pdfs/TNSRE06.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2015.

YOO, S. S. *et al.* Non-invasive brain-to-brain interface (BBI): establishing functional links between two brains. **PLoS ONE**, v.8, 2013. Disponível em: <<http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0060410>>. Acesso em: 4 fev. 2015.

---

**Data do recebimento:** 1 de março de 2016

**Data da avaliação:** 3 de março de 2016

**Data de aceite:** 3 de março de 2016

---

- 
1. Graduado do curso de Psicologia do Centro Universitário Tiradentes. Email: paballo14@hotmail.com
  2. Docente do curso de Psicologia do Centro Universitário Tiradentes – UNIT/AL. Email: afermoseli@hotmail.com.