

Uso da tecnologia Interface Cérebro-Máquina na reabilitação de pacientes
Use of Brain-Machine Interface technology in the rehabilitation of patients
Uso de la tecnología de Interfaz Cerebro-Máquina en la rehabilitación de pacientes

Recebido: 08/11/2020 | Revisado: 15/11/2020 | Aceito: 02/12/2020 | Publicado: 05/12/2020

Bruna Corrêa Nolêto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7371-1936>

Centro Universitário UniFacid, Brasil

E-mail: brunacn10@gmail.com

Fernanda Rodrigues de Araújo Paiva Campelo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5733-9924>

Centro Universitário Unifacid, Brasil

E-mail: frapc_paiva@hotmail.com

Karleth Costa Spíndola Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0657-2475>

Centro Universitário Unifacid, Brasil

E-mail: kspindolarodrigues@gmail.com

Letice Mendes Ribeiro

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0378-8051>

Centro Universitário Unifacid, Brasil

E-mail: leticeribeiro@hotmail.com

Mauricio Salviano

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9488-2873>

Centro Universitário Unifacid, Brasil

E-mail: mauricio.salviano@facid.edu.br

Resumo

Nas últimas décadas diversos foram os avanços no ramo das tecnologias inovadoras utilizadas para a reabilitação de pessoas com alguma deficiência motora. Um grande exemplo são as tecnologias Interface Cérebro-Máquina (ICM), que permitem um controle de máquinas por meio da atividade cerebral dos indivíduos e contribui para uma reorganização dos sistemas motores e sensoriais dos mesmos. Assim diversas evidências vêm sugerindo o uso de tecnologias na reabilitação desses pacientes. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi realizar

uma revisão de literatura, sobre o uso de tecnologias aplicadas na reabilitação motora. Para o presente trabalho, foi realizada uma busca de artigos científicos nas bases de dados Pubmed, Scielo e Lilacs, além disso incluiu-se dissertações e teses encontradas no portal de periódicos da CAPES. Totalizou-se 24 referências, publicadas entre os anos 2002 e 2020. De acordo com a literatura estudada, existe um aumento dos recursos que utilizam tecnologias como opções terapêuticas. Muitas das intervenções convencionais vêm sendo substituídos ou associadas à essas tecnologias inovadoras. Com o surgimento da tecnologia ICM e seu uso em seres humanos, pode-se observar uma revolução tecnológica em diversas áreas biomédicas, permitindo assim uma aplicação multidisciplinar na reabilitação de funções motoras, sensoriais ou cognitivos em pacientes. Apesar dos avanços, esse assunto ainda mostra controvérsias e antes de uma recomendação ampla, serão necessários mais estudos randomizados e uma maior recomendação ética sobre o assunto.

Palavras-chave: Reabilitação; Limitação da mobilidade; Tecnologia.

Abstract

In the last few decades, there have been advances in the field of innovative technologies used for the rehabilitation of people with a motor disability. A great example is the Brain-Machine Interface (BMI) technologies, which allow the control of machines through the brain activity of individuals and contributes to a reorganization of their motor and sensory systems. Thus, several evidences have suggested the use of technologies in the rehabilitation of these patients. The aim of this study was to perform a literature review on the use of technologies applied to motor rehabilitation. To carry out this study, a search for scientific articles was performed in the Pubmed, Scielo and Lilacs databases, in addition to the dissertations and theses found on the CAPES database. There were a total of 24 references, published between 2002 and 2020. According to the literature studied, there is an increase in resources that use technologies as therapeutic options. Many of the conventional interventions are being replaced or associated with these innovative technologies. With the advent of BMI technology and its use in human beings, a technological revolution can be observed in several biomedical areas, thus allowing a multidisciplinary application in the rehabilitation of motor, sensory or cognitive functions in patients. Despite the advances, this subject still shows controversies and before a broad recommendation, more randomized studies and a greater ethical recommendation on the subject will be needed.

Keywords: Rehabilitation; Mobility limitation; Technology.

Resumen

En las últimas décadas, se han producido avances en el campo de las tecnologías innovadoras utilizadas para la rehabilitación de personas con discapacidad motora. Un gran ejemplo son las tecnologías Brain-Machine Interface (ICM), que permiten el control de las máquinas a través de la actividad cerebral de los individuos y contribuyen a la reorganización de sus sistemas motores y sensoriales. Así, varias evidencias han sugerido el uso de tecnologías en la rehabilitación de estos pacientes. Así, el objetivo de este estudio fue realizar una revisión de la literatura sobre el uso de tecnologías aplicadas en la rehabilitación motora. Para la realización de este trabajo se realizó una búsqueda de artículos científicos en las bases de datos Pubmed, Scielo y Lilacs, además de las disertaciones y tesis encontradas en el portal de revistas CAPES. Hubo un total de 24 referencias, publicadas entre los años 2002 y 2020. Según la literatura estudiada, se observa un aumento de recursos que utilizan las tecnologías como opciones terapéuticas. Muchas de las intervenciones convencionales están siendo reemplazadas o asociadas con estas tecnologías innovadoras. Con la llegada de la tecnología ICM y su uso en seres humanos, se puede observar una revolución tecnológica en varias áreas biomédicas, permitiendo así una aplicación multidisciplinar en la rehabilitación de funciones motoras, sensoriales o cognitivas en pacientes. A pesar de los avances, este tema aún presenta controversias y ante una recomendación amplia, serán necesarios más estudios aleatorizados y una mayor recomendación ética sobre el tema.

Palabras clave: Rehabilitación; Tecnología; Limitación de la movilidad.

1. Introdução

Diversos foram os avanços para as pessoas com alguma deficiência motora ao longo das últimas décadas, tanto em relação às políticas públicas quanto às pesquisas e investimentos surgidos no ramo das tecnologias inovadoras. Essas últimas vêm ganhando um grande reconhecimento em diversos campos, contribuindo em possibilidades para a reabilitação de muitos indivíduos (Alcântara, 2020).

A Interface Cérebro-Máquina (ICM) é um exemplo de tecnologias que permitem um controle de máquinas por meio da atividade cerebral dos indivíduos. O uso contínuo dessas tecnologias em indivíduos com alguma limitação motora permite uma reorganização dos sistemas motores e sensoriais. Assim diversas evidências vêm sugerindo o uso de tecnologias na reabilitação desses pacientes (Wade et al., 2018) (Ushiba 2019).

Essas neurotecnologias possuem a capacidade de melhorar a resposta das atividades motoras em indivíduos que por algum motivo estão com déficit motor, entretanto as atuais evidências ainda são um pouco controversas, visto a pequena quantidade de estudos clínicos (Coscia et al., 2019). Técnicas de estimulação cerebral que usam campos magnéticos ou correntes elétricas locais atuam estimulando ou inibindo as áreas cerebrais lesadas. São técnicas não-invasivas e cada uma possui um mecanismo específico para produzir um estímulo e uma resposta (Coscia et al., 2019).

Entre algumas das principais indicações e vantagens dessas tecnologias estão o controle motor em pacientes paraplégicos, a restauração da visão, detecção e controle de ataques epiléticos, controle de distúrbios de movimento e melhoria da memória, por exemplo. Apesar dos avanços, essa tecnologia ainda está no início do seu desenvolvimento e a literatura ainda é limitada (Rosenfeld & Wong, 2017). Sendo assim, o objetivo desse estudo foi realizar uma revisão de literatura, sobre o uso de tecnologias aplicadas na reabilitação motora, apontando as principais evidências disponíveis na literatura.

2. Metodologia

Para a realização do presente trabalho, foi realizada uma busca de artigos científicos nas bases de dados Pubmed, Scielo e Lilacs, além disso incluiu-se dissertações e teses encontradas no portal de periódicos da CAPES, utilizando os descritores “Reabilitação”, “Limitação da Mobilidade” e “Tecnologia” e como palavra-chave “interface cérebro-máquina” tanto em inglês como português. Totalizou-se 24 referências, publicadas entre os anos 2002 e 2020. Inicialmente foram lidos os títulos e abstracts, após isso as referências que se enquadraram ao tema foram lidas na íntegra. Selecionou-se artigos de pesquisa e revisões sistemáticas nos idiomas inglês e português. Foram excluídos artigos que abordavam tecnologias diferentes da proposta nesse trabalho.

3. Revisão de literatura

3.1 Plasticidade neural e aprendizado motor

A habilidade motora tem como característica intrínseca a necessidade de treino. Seja o aprendizado de um instrumento musical, dança ou esporte, todos eles demandam extensa prática e desenvolvimento da percepção sensorial de diversos componentes do movimento,

tais como tempo de duração, direção, força aplicada, resposta de superfícies entre vários outros. É a partir desse conjunto de informações que o sistema nervoso se torna capaz de reter e modificar, quando necessário, as habilidades motoras (Ruffino, Papaxanthis & Lebon, 2017).

Uma das principais características do cérebro é a sua capacidade de modificação, característica essa que é denominada plasticidade neuronal, e representa a aptidão do sistema nervoso em se reorganizar em seus circuitos neuronais para atender às demandas do indivíduo. As mudanças físicas que ocorrem a nível celular expressam mudanças no padrão dos disparos e circuitos neuronais, sendo tais modificações as responsáveis pelo aprendizado, memória e adaptação às condições ambientais (Steeves & Harris, 2012) (Power & Schlaggar, 2017).

Pode-se definir a aprendizagem motora como o processo pelo qual o indivíduo adquire a habilidade de executar uma tarefa, aparentemente sem esforço, após treinar tal execução por longos períodos. Essas memórias são armazenadas a nível de SNC – Sistema Nervoso Central e são comumente conceituadas como engramas, que se entendem como traços físicos no cérebro (Tonegawa et al., 2015).

A aquisição de habilidades motoras repercute mudanças celulares e na rede neuronal, que consistem em modificações funcionais e estruturais que melhoram as transmissões sinápticas e rede sináptica dedicadas àquela atividade. Devido ao seu armazenamento no SNC as memórias motoras podem ser acessadas, construídas e modificadas rapidamente pela prática motora, conferindo características adaptativas de extrema relevância para o indivíduo (Wenderoth, 2018).

Na plasticidade neural estão envolvidos alguns mecanismos básicos, entre os mesmos a neurogênese, a morte celular programada e a plasticidade sináptica modulada por atividade. É através do estímulo ou depressão da neurotransmissão de determinadas redes neuronais que se formam a potencialização a longo prazo e a depressão à longo prazo, mecanismos celulares ativados de maneira rápida que modificam as transmissões sinápticas no decorrer de dias ou até mesmo anos (Nabavi et al., 2014).

Um aspecto importante do aprendizado motor é a manutenção do equilíbrio entre estabilidade e plasticidade, o que permite ao indivíduo adaptar-se rapidamente às mudanças relacionadas à sua atividade ao mesmo tempo que retém habilidades extremamente estáveis que adquiriu há muito tempo. Tal aspecto é explicado pelas alterações causadas no córtex motor primário que pode ser modulado por modificações de curto prazo da plasticidade, bem como pela potencialização ou depressão a longo prazo (Xu et al., 2009) (Wenderoth, 2018).

3.2 Tecnologia e Inovação na área da saúde

Na tríade ciência, tecnologia e saúde deve existir um impacto social, sem esse último, todo o investimento em desenvolvimento não faria sentido. No contexto da reabilitação em pacientes com alguma limitação motora e/ou sensorial, os atuais avanços estão associados à robótica, carros autônomos, ICM e aprimoramento humano (Djebrouni et al., 2019).

Vem crescendo rapidamente a quantidade de estudos sobre o uso e aplicabilidade de ferramentas tecnológicas na reabilitação, o que vem sendo apontado uma ampla aplicabilidade nas reabilitações dos pacientes que apresentam algum tipo de limitação (Broeren et al., 2008). Essas tecnologias permitem melhorar as funções cognitivas e motoras do paciente e estão passando por uma evolução, assim como praticamente tudo no mundo globalizado, o que aumenta a quantidade e possibilidades dos recursos utilizados em intervenções (Caiana et al., 2016).

Já existem algumas tecnologias virtuais descritas no campo e nos últimos anos cresceu a discussão sobre o uso de sistemas de ICM. Como esse sistema possui intenso potencial na reabilitação de pacientes com limitações motoras, como ocorre após acidentes vasculares cerebrais por exemplo, pesquisadores e clínicos vêm apontando a importância de se conhecer melhor esse sistema. Nas diversas áreas da saúde essa ferramenta é desafiadora, sendo um campo onde há muito a ser explorado a nível clínico e científico para assim com uma maior evidência poder direcionar melhor os profissionais (Brandão et al., 2014).

Nessas situações, os profissionais de saúde devem trabalhar para que exista uma maior inclusão na vida social dos pacientes, assim como as outras áreas, sendo diretamente impactada com os avanços em tecnologia e inovação. Estas profissões podem utilizar diversas tecnologias no dia a dia, estando a mesma diretamente envolvida na avaliação e aplicações das inovações, sempre buscando um maior impacto social de uma inovação e identificando as implicações negativas e positivas relacionadas (Djebrouni et al., 2019).

3.3 Tecnologias computacionais para o monitoramento e a reabilitação de pessoas

A integração da tecnologia no cuidado médico por meio do desenvolvimento de ferramentas de apoio à tomada de decisão, comunicação, registros, captura de imagens e movimento por sensores e muitos outros são, cada vez mais, considerados essenciais para um melhor serviço em saúde (Patel et al., 2012).

Tecnologias de monitoramento através de dispositivos eletrônicos já fazem parte da realidade de vários pacientes, principalmente idosos. Dessa maneira lhes é dada a possibilidade de permanecer em seu ambiente domiciliar enquanto são acompanhados remotamente. Exemplos dessas aplicações são tênis com a capacidade de detectar movimentos, dispositivos de contagem de passos e sensores acoplados às vestimentas que podem monitorar atividades cotidianas (Giansanti et al., 2008) (Sazonov et al., 2009).

Dentre as tecnologias utilizadas para reabilitação de pacientes pode-se destacar os sistemas de ICM, que possuem grande potencial no cuidado do paciente com deficiências motoras, inclusive as oriundas de danos no SNC (Brandão et al., 2014). As ICM utilizam sinais neurofisiológicos criados no cérebro para ativar ou desativar um dispositivo ou computador externo. Os eletrodos que captam os sinais vindos do cérebro podem ser do tipo invasivo (dentro do cérebro) ou não invasivo (fora do cérebro). Partindo desse princípio, as possibilidades de aplicação desse conceito na reabilitação e reintegração social de pacientes são gigantescas, indo desde a seleção de caracteres em uma tela de computador até o controle de dispositivos de deslocamento (Birbaumer & Cohen, 2007).

A aplicação de técnicas de ICM se inicia na decisão do tipo de aquisição de sinal que será utilizado, o que varia de acordo com as capacidades e necessidades do paciente, já que conforme a técnica aplicada o sistema pode ser portátil ou estacionário, não invasivo, parcialmente invasivo ou invasivo. Após a escolha do tipo de aquisição que será utilizado, o paciente necessariamente passará por um período de adaptação e calibração de seu dispositivo, processo que consiste na regulagem dos sensores ou sondas de acordo com os estímulos produzidos pelo paciente, o que é variável para cada indivíduo (Wolpaw et al., 2002) (Daly & Wolpaw, 2008).

Os sinais gerados pelo cérebro podem ainda ser involuntários ou voluntários. São involuntários aqueles que são provocados por algum fator externo, como algum estímulo visual em um monitor, que por sua vez provoca uma determinada resposta no cérebro do paciente, tais sistemas são chamados síncronos devido à necessidade de estimulação externa para geração do sinal, dessa forma tornando o estímulo e a resposta sincronizados. Já em sistemas que trabalham com sinais voluntários, a interface lida com a resposta cerebral do paciente a estímulos criados pelo mesmo, mais comumente imaginando a realização de algum movimento. A esse tipo de sistema dá-se o nome de assíncrono, pois não há necessidade de estímulo externo para criação do sinal (Brandão et al., 2014).

A utilização dos ICM não se limita apenas a substituir funções perdidas pelo paciente, como locomoção ou fala, mas também é capaz de, em alguns casos, devolver funcionalidades

físicas que haviam sido perdidas. O relato de caso de Caria et al. (2011), reporta o uso de ICM baseados em magnetoencefalografia e eletroencefalografia associados à fisioterapia na recuperação dos movimentos de mão e braço direitos. Após oito meses de treinamento, nos quais utilizou-se de um braço robótico para auxiliar o paciente a treinar a ativação de seus movimentos, houve melhora substancial na capacidade motora do paciente.

Uma das iniciativas mais ousadas e ambiciosas que engloba o uso de dispositivos ICM é a Neuralink[®]. Inicialmente os professores Pedram Mohseni e Randolph Nudo tinham o objetivo de construir um dispositivo capaz de tratar problemas de saúde, e o fizeram. No entanto, com a entrada de Elon Musk na iniciativa, houve uma expansão de objetivos. Musk apresenta propostas não apenas para o uso dessa tecnologia em doentes, mas também em indivíduos completamente saudáveis, expandindo suas capacidades ao conectar cérebros a computadores, implantando através de cirurgia um chip no cérebro humano. A inteligência artificial, bem como situações correlatas, levanta várias questões éticas que exigem atenção, sendo este um dos prováveis motivos para sua baixa aplicação no campo da medicina (Miśkiewicz, 2019).

4. Resultados e Discussão

É inegável que os avanços em estudos que envolvem ciência, cérebro e tecnologia foram surpreendentes nos últimos anos, evidenciando resultados satisfatórios. As tecnologias ICM vêm recebendo significativa atenção no campo biomédico, trazendo assim novos métodos de neuroreabilitação. Os estudos vêm apontando que as tecnologias ICM possuem o potencial de restaurar algumas funções limitadas e conseqüentemente melhorar a qualidade de vida. Apesar das atuais evidências disponíveis e crescimento das pesquisas em seres humanos ainda existem muitos desafios éticos e científicos a serem desbravados (Abriri et al., 2018) (Sullivan & Illes, 2018) (Rabbani et al., 2019).

Um identificou e caracterizou as principais questões éticas associadas ao uso das tecnologias com ICM. Os autores relataram que as pesquisas com essas tecnologias geram diversas preocupações éticas, legais e sociais, especialmente em aspectos relacionados à personalidade, estigma, autonomia, privacidade, ética em pesquisa, segurança, responsabilidade e justiça. Outro ponto seria que, é frequente as questões éticas serem enumeradas e relatadas, mas poucas recomendações concretas vêm sendo expressas (Burwell et al., 2017).

Apesar de todas essas questões e limitações, a tecnologia ICM é regularmente pesquisada, testada em pacientes e já em comercialização, tendo provado ser uma importante ferramenta para fornecer a comunicação alternativa e mobilidade funcional em pacientes, entretanto o debate continua escasso, sem recomendações éticas concretas (Burns et al., 2014) (Burwell et al., 2017).

Devido ainda ser considerada algo em fase inicial de desenvolvimento, a tecnologia ICM ainda espera um aprimoramento na técnica e que se realizem mais estudos clínicos com grandes amostras. Isso não a torna menos inovadora, apenas se deve ter uma maior cautela na sua indicação e nos ensaios clínicos (Rosenfeld & Wong, 2017). É notório que muitos dos estudos mostram riscos de vieses e com amostras pequenas e de grande heterogeneidade. Estudos clínicos e controlados ainda são necessários para embasar sua eficácia (Wade et al., 2018).

Após uma análise de estudos sobre o tema, identificou-se que a literatura científica ainda não fornece evidências fortes que possam suportar diretrizes. Isto ocorre devido a diversidade dos procedimentos, das intervenções e da heterogeneidade da população que necessita reabilitação, como os pacientes que sofreram acidente vascular cerebral, por exemplo. Não há como negar que o desenvolvimento de tecnologias tem fornecido novas e maiores possibilidades nas pesquisas do processo reabilitador de diversas enfermidades de doenças, para a cura e para o processo de reabilitação, sendo o terapeuta ocupacional um dos profissionais envolvido nesse processo. Diversos são os desafios a serem superados, seja no nível técnico, como acadêmico e clínico, entretanto com os esforços empregados nos últimos anos nas investigações, a perspectiva é animadora (Marins & Emmel 2011) (Coscia et al., 2019).

5. Conclusão

De acordo com a literatura estudada, existe um aumento dos recursos que utilizam tecnologias como opções terapêuticas. Muitas das intervenções convencionais vêm sendo substituídos ou associadas à essas tecnologias inovadoras.

Com o surgimento da tecnologia ICM e seu uso em seres humanos, pode-se observar uma revolução tecnológica em diversas áreas biomédicas, permitindo assim uma aplicação multidisciplinar na reabilitação de funções motoras, sensoriais ou cognitivos em pacientes.

Apesar dos avanços, esse assunto ainda mostra controvérsias e antes de uma recomendação ampla, serão necessários mais estudos randomizados e uma maior recomendação ética sobre o assunto.

Referências

Alcantara, J. G. D. (2020). Tecnologias assistivas para a mobilidade de pessoas com deficiência. (Doctoral dissertation). <http://repositorio.uninove.br/xmlui/handle/123456789/1340>

Birbaumer, N., & Cohen, L. G. (2007). Brain–computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis. *The Journal of Physiology*, 579(3), 621-636. <http://doi.wiley.com/10.1113/jphysiol.2006.125633>.

Brandão, A. F., Brasil, G. J. C., Dias, D. R. C., Almeida, S. R. M., Castelhana, G., & Trevelin, L. C. (2014). Realidade Virtual e reconhecimento de gestos aplicada as áreas de saúde. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, 1(4), 33-48. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59612803/MC_SVR_201420190608-12881-118pqmu.pdf?1560021857=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTENDENCIAS_E_TECNICAS_EM_REALIDADE_VIRTU.pdf&Expires=1603146177&Signature=Q~1t9SW-VNwOC4Wxfvi74becZhWgct9ViJvjS1ZkHKk12QWmSbZzjM1mdnnOEZo45EgRVVeQWP~8jbEu4qBv6z49mhvJ0765WqbJt0Z55-Vgf95Ui9TKiUGE6kIaULlpIaDvpCgcJ0cufdpjfUpMriQGhM-yVw93YgVzVgmAoaQQgpddycj~Xiinx-sJlhG6A1Xw5NRd0o7vr54Bi2JSxVXyhfeu2wDy-0Wxy6F3nbNSj-j8S-1FIF5rkqfhKacSmxuvVj25xgMJCQ9jbJjKV6wm9QNP~dJeGpLqXU3apB1Akpzn8bgevR4E~wQEywaibpcle6aqzW2R22LsYpAFSg__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA#page=33

Burwell, S., Sample, M., & Racine, E. (2017). Ethical aspects of brain computer interfaces: a scoping review. *BMC Medical Ethics*, 18(1), 1-11. <https://bmcmethics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12910-017-0220-y>

Caiana, T. L., de Lima Nogueira, D., & Dantas de Lima, A. C. (2016). A realidade virtual e seu uso como recurso terapêutico ocupacional: revisão integrativa. *Cadernos de Terapia*

Ocupacional da UFSCar, 24(3), 575-589. <http://www.cadernosdeto.ufscar.br/index.php/cadernos/article/view/1218/752>

Caria, A., Weber, C., Brötz, D., Ramos, A., Ticini, L. F., Gharabaghi, A., & Birbaumer, N. (2011). Chronic stroke recovery after combined BCI training and physiotherapy: a case report. *Psychophysiology*, 48(4), 578-582. <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1469-8986.2010.01117.x>.

Coscia, M., Wessel, M. J., Chaudary, U., Millán, J. D. R., Micera, S., Guggisberg, A., & Hummel, F. C. (2019). Neurotechnology-aided interventions for upper limb motor rehabilitation in severe chronic stroke. *Brain*, 142(8), 2182-2197. <https://academic.oup.com/brain/article/142/8/2182/5524504>

Daly, J. J., & Wolpaw, J. R. (2008). Brain-computer interfaces in neurological rehabilitation. *The Lancet Neurology*, 7(11), 1032-1043. <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1474442208702230>.

Djebrouni, M., & Wolbring, G. (2020). Impact of robotics and human enhancement on occupation: what does it mean for rehabilitation?. *Disability and Rehabilitation*, 42(11), 1518-1528. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/09638288.2018.1527401>.

Giansanti, D., Maccioni, G., & Morelli, S. (2008). An experience of health technology assessment in new models of care for subjects with Parkinson's disease by means of a new wearable device. *Telemed e-Health*, 14(5), 467-472. <https://www.liebertpub.com/doi/10.1089/tmj.2007.0078>.

Miśkiewicz, J. (2019). The merger of natural intelligence with artificial intelligence, with a focus on Neuralink company. *Virtual Economics*, 2(3), 22-29. <https://virtual-economics.eu/index.php/VE/article/view/28>

Nabavi, S., Fox, R., Proulx, C. D., Lin, J. Y., Tsien, R. Y., & Malinow, R. (2014). Engineering a memory with LTD and LTP. *Nature*, 511(7509), 348-352. <http://www.nature.com/articles/nature13294>.

Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L., & Rodgers, M. (2012). A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation. *Journal of Neuroengineering and Rehabilitation*, 9(1), 1-17. 2012;9(21):1-17. <https://jneuroengrehab.biomedcentral.com/articles/10.1186/1743-0003-9-21>.

Rosenfeld, J. V., & Wong, Y. T. (2017). Neurobionics and the brain–computer interface: current applications and future horizons. *Medical Journal of Australia*, 206(8), 363-368. https://www.mja.com.au/system/files/issues/206_08/10.5694mja16.01011.pdf

Ruffino, C., Papaxanthis, C., & Lebon, F. (2017). Neural plasticity during motor learning with motor imagery practice: Review and perspectives. *Neuroscience*, 341(1), 61-78. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.11.023>

Sazonov, E. S., Fulk, G., Sazonova, N., & Schuckers, S. (2009). Automatic recognition of postures and activities in stroke patients. In 2009 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (pp. 2200-2203). IEEE. <http://ieeexplore.ieee.org/document/5334908/>.

Steeves, J. K., & Harris, L. R. (2013). *Plasticity in Sensory Systems*. Cambridge University Press. https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=ckCozisvTlsC&oi=fnd&pg=PA1&d=Steeves+JKE,+Harris+LR.+Plasticity+in+Sensory+Systems.+1st+ed.+Cambridge:+Cambridge+University+Press%3B+2012.&ots=AQZiiKW6s_&sig=NX1zciFVGAKJWH0GXHN-I0s708Y#v=onepage&q&f=false

Schlaggar, B. L., & Power, J. D. (2017). Neural plasticity across the lifespan. <https://allenamente.net/wp-content/uploads/2017/10/VUOI-SAPERNE-DI-PIU.pdf>

Tonegawa, S., Pignatelli, M., Roy, D. S., & Ryan, T. J. (2015). Memory engram storage and retrieval. *Current Opinion in Neurobiology*, 35, 101-109. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2015.07.009>

Ushiba, J. (2019). Brain-Machine Interface and Neuro-Rehabilitation. *Brain and nerve= Shinkei kenkyu no shinpo*, 71(7), 793-804. <https://europepmc.org/article/med/31289253>

Wada, K., Ono, Y., Kurata, M., Ito, M. I., Minakuchi, M. T., Kono, M., & Tominaga, T. (2019). Development of a Brain-machine Interface for Stroke Rehabilitation Using Event-related Desynchronization and Proprioceptive Feedback. *Advanced Biomedical Engineering*, 8(1), 53-59. https://www.jstage.jst.go.jp/article/abe/8/0/8_8_53/_article/-char/ja/

Wenderoth, N. (2018). Motor learning triggers neuroplastic processes while awake and during sleep. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 46(3), 152-159. <http://journals.lww.com/00003677-201807000-00004>.

Wolpaw, J. R., Birbaumer, N., McFarland, D. J., Pfurtscheller, G., & Vaughan, T. M. (2002). Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology*, 113(6), 767-791. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00057-3)

Xu, T., Yu, X., Perlik, A. J., Tobin, W. F., Zweig, J. A., Tennant, K., & Zuo, Y. (2009). Rapid formation and selective stabilization of synapses for enduring motor memories. *Nature*, 462(7275), 915-919. <http://www.nature.com/articles/nature08389>.

Porcentagem de contribuição por autor no manuscrito

Bruna Corrêa Nolêto – 20%

Fernanda Rodrigues de Araújo Paiva Campelo – 20%

Karleth Costa Spíndola Rodrigues – 20%

Letice Mendes Ribeiro – 20%

Mauricio Salviano – 20%