

Próteses Biônicas e dispositivos que funcionam através de sensores conectados ao músculo do paciente

| **Wasller Ludovico Meireles Souza**
IFG - Luziânia

| **Lucas da Silva Landim**
IFG - Luziânia

| **Bruno de Jesus Silva**
IFG - Luziânia

| **Ernane Rosa Martins**
IFG - Luziânia

RESUMO

Este artigo, visa o estudo da área das inovações tecnológicas, que com os seus avanços conseguiram trazer à vida dispositivos inimagináveis, capazes de conectarem o cérebro humano a uma máquina ou computador, possibilitando o controle desta através dos impulsos nervosos. Assim, o artigo propõe a análise e relacionamento, por pesquisa bibliográfica, como as próteses biônicas, em conjunto com a *Interface Cérebro-Máquina*, conseguem beneficiar os indivíduos e aumentar sua qualidade de vida, em casos de incapacidade motora. Este artigo teve como resultado, o estudo que abrange uma nova área de inovação da tecnologia que visa o conforto e o bem-estar das pessoas, tendo como base os avanços da medicina e tecnologia que se tornam exponenciais a cada ano que passa. O campo da medicina e tecnologia estão em constantes avanços, tornando a saúde uma inovação superaram as capacidades dos seres humanos.

Palavras-chave: Próteses Biônicas, Industria 4.0, Interfaces Cérebro Máquina, Inovações, Tecnologia.

■ INTRODUÇÃO

Os avanços da robótica aplicada à melhoria da qualidade de vida humana também merecem destaque, principalmente aqueles voltados à reabilitação — muitas vezes reabilitação física, mas em todas as áreas da vida do indivíduo, em termos de sua subjetividade (DECI, Edward L.; FLASTE, Richard, 1995).

As próteses biônicas atuais — capazes de muita liberdade de movimento — estão ligadas às neuropróteses e às interfaces cérebro-computador, abrindo um amplo leque de horizontes para pessoas com deficiência (PARAG, G. P.; TURNER, D. A. 2008).

Este trabalho se propõe a investigar como essas técnicas se relacionam com a reabilitação de indivíduos que perderam membros e não conseguem realizar tarefas comuns, seu possível impacto na subjetividade e os benefícios que podem trazer ao restaurar a autonomia perdida. Para tanto, serão discutidos primeiramente os conceitos de biomimética, robótica e próteses, seguidos do conceito de interfaces cérebro-máquina (ou *Interface Cérebro-Computador*) e as neuropróteses utilizadas em conjunto com essa interface, como componente da interface. A *Interface Cérebro-Máquina* será relacionada com as próteses e neuropróteses e os seus devidos modos de funcionamento, partindo então para futuras possibilidades e a importância de tais tecnologias para o ser humano, a qualidade de vida, a tecnologia e a psicologia.

■ METODOLOGIA

Este artigo está sendo elaborado por meio de uma pesquisa bibliográfica. Entende-se como pesquisa bibliográfica, segundo Gil (2002), a pesquisa que é desenvolvida a partir de material já existente, constituindo em sua maior parte de livros e artigos científicos, mas também de dicionários, enciclopédias, anuários, almanaques, publicações periódicas, jornais e revistas. Portanto, ao partir dessa definição, para esse artigo, o material foi pesquisado em jornais, livros, revistas, publicações periódicas e artigos científicos.

■ PRÓTESES BIÔNICAS

Inicialmente, é necessário esclarecer conceitos aparentemente similares e diferenciá-los, sendo eles: robótica, Tecnologia e Biônica. Segundo Siciliano *et al.* (2010), robótica pode ser definida como ciência que investiga a conexão inteligente entre percepção e ação, onde são utilizados e construídos robôs, vistos como máquinas capazes de transformar o seu ambiente, condicionadas por regras de comportamento, ou seja, por sua programação.

Tecnologia é descrita como a aplicação da ciência, o conhecimento do conjunto de técnicas e processos empregados pelos seres humanos, que acabam por impulsionar o desenvolvimento (ARTHUR, 2009). Por último, conceituam biônica como uma área de pesquisas de bioengenharia que têm se expandindo e ramificado, se tornado interdisciplinar, que gera e aplica soluções baseadas na natureza, na criação de sistemas e máquinas (LUCIVERO, TAMBURRINI, 2007).

Especificamente, será abordada a seção que diz respeito à biônica direcionada para a saúde, à reabilitação, que se expande rapidamente e visa à implantação de sistemas híbridos, entre o biológico e o artificial, concentrando-se nas próteses desenvolvidas nos anos recentes. As próteses são aparelhos que servem para a substituição de algum membro ou órgão do corpo, as que serão abordadas são próteses biônicas (LUCIVERO, TAMBURRINI, 2007).

As próteses são constituídas de componentes básicos, abordados a seguir: o pilar, a soquete e o sistema de suspensão. O pilar é a parte interna ou “esqueleto” da prótese, que fornece suporte estrutural, é geralmente constituído de compostos leves de fibras de carbono. É esta estrutura que é comumente revestida com material macio que pode ser modificado e combinado com o tom da pele (SCHUCH, 1998).

A soquete é a porção da prótese que interage com o membro residual, ela transmite a força da prótese para o corpo do indivíduo. Por último, o sistema de suspensão é o que mantém a prótese anexada ao corpo, encontrado de maneiras diferentes, como, por exemplo, em alguns tipos de amputações, a prótese pode permanecer anexada apenas pelo encaixe em torno do membro residual. Dentre as mais comuns formas de mecanismos de suspensão se utilizam de sucção, onde a prótese do membro é encaixada no membro residual e um selo hermético a mantém no local (SCHUCH, 1998).

Os nervos também costumam ser realocados e conectados a dispositivos com interfaces específicas para manter o fluxo bidirecional de impulsos nervosos e informações. É importante mencionar que, diferentemente das próteses mecânicas, que apenas substituem a parte do corpo perdida e possuem a capacidade motora limitada, as próteses biônicas conseguem simular movimentos mais complexos do ser humano, capazes de imitarem a motricidade fina (SCHUCH, 1998).

A Interface Cérebro-Máquina

Caracterizada pela interação cerebral entre o ser e algum dispositivo artificial, para controlar a máquina/computador, a Interface Cérebro-Máquina (ICM) possuiu rápido desenvolvimento, desde seus primórdios, de natureza experimental, demonstrando que a atividade elétrica criada por conjuntos de neurônios corticais podem manipular dispositivos robóticos (LEBEDEV; NICOLELIS, 2006).

Sendo desenvolvida e utilizada na reabilitação de variadas formas de incapacidades ou doenças cerebrais que afeta a motricidade, com a premissa da recuperação do movimento perdido. A comunicação entre o cérebro e a máquina se dá tanto pela plasticidade cerebral quanto pela utilização de eletrodos, porém existem diferentes segmentos na classificação dos métodos empregados na utilização dos eletrodos (JEBARI, 2011).

As duas categorias nas quais seus métodos são divididos consistem de Interface Cérebro-Máquina Não-Invasiva e Invasiva. O método mais empregado na categoria de caráter não-invasivo é a eletroencefalografia (EEG), que se utiliza de sensores externos — eletrodos — que registram a atividade elétrica produzida pelos neurônios, e esses sistemas são geralmente utilizados para o controle de cursores em computadores ou outros dispositivos similares (JEBARI, 2011).

As metodologias invasivas também consistem de eletrodos, implantados no interior do crânio, permitindo dessa forma uma maior precisão em relação aos impulsos nervosos. O método invasivo mais comum entre pesquisas com animais é o da eletrocorticografia, que se baseia no registro dos grupos de neurônios (MUSATTO, DE AVILA E SILVA, 2014).

Os métodos invasivos podem ser divididos em *single recording site/local* de registro único e *multiple recording site/local* de registro múltiplo, onde são, respectivamente, registrados impulsos nervosos de uma única área cortical e onde são registrados de múltiplas áreas de maneira simultânea (LEBEDEV, NICOLELIS, 2006).

O local de registro único ainda pode ser fragmentado em amostras pequenas, nas quais grupos pequenos de neurônios são utilizados e suficientes para o controle dos sinais da Interface Cérebro-Máquina, porém, sofre de certa instabilidade. No local de registro múltiplo, o ocorrido é o oposto, é fragmentado em amostras grandes, onde são utilizados grandes grupos de neurônios, tornando possível uma maior liberdade de controle e mais estabilidade (MUSATTO, DE AVILA E SILVA, 2014).

O ramo de localização de gravação única e localização de gravação múltipla é o potencial de campo local (LFP)/campo potencial local (CPL), a interface cérebro-computador usada neste processo é baseada na decodificação e é menos prejudicada por questões e problemas de biocompatibilidade — seja ou não Rejeição imune está presente — mas limitada em escopo (LEBEDEV, NICOLELIS, 2006).

As modalidades invasivas da Interface Cérebro-Máquina possuem riscos potenciais, devido a sua natureza intracraniana e ao processo cirúrgico de implantação, e conforme Musatto e de Avila e Silva (2014) necessitam igualmente do suporte do desenvolvimento computacional para conseguir manter seu funcionamento ao nível otimizado.

As Neuropróteses

Dispositivos de neuropróteses conseguem agir como um componente do cérebro, substituindo a transmissão de sinais biológicos com sinais tecnológicos, processando os sinais diretamente do córtex motor, com a finalidade de controlar as atividades da prótese e retornar os sinais ao córtex sensorial, capacitando o controle completo de uma prótese robótica — como um braço biônico, por exemplo (PATIL, TURNER, 2008).

De maneira conceitual, qualquer função realizada pelo cérebro ou sistema nervoso poderia ser replicada se os sinais neurais pudessem ser aproveitados e direcionados, para o interior ou exterior do corpo. Para traduzir pensamentos em ações concretas, a Interface Cérebro-Máquina de um dispositivo de neuroprótese motora necessitaria de três funções (MUSATTO, DE AVILA E SILVA, 2014).

O estágio inicial é o da detecção do sinal, na qual um sensor mede mudanças fisiológicas e o fluxo de informação no cérebro pode ser observado durante tais mudanças, que consequentemente podem ser utilizadas para manusear dispositivos de neuropróteses. Sinais elétricos podem ser detectados nos neurônios em unidades individuais (local de registro único), populações pequenas em determinadas regiões (local de registro múltiplo) ou grandes, se expandindo por consideráveis porções do córtex (LEBEDEV, NICOLELIS, 2006).

Logo após o procedimento da detecção do sinal, é necessária a interpretação de modo a determinar o conteúdo da informação. Conforme a localização do sensor (eletrodos), o tempo de registro em relação a uma ação e o caráter do sinal, a informação contida na mesma modalidade de sinais pode ser significativamente variável: sinais registrados em áreas específicas do cérebro que dizem respeito à motricidade fina e tarefas relacionadas a ela podem refletir vários movimentos que estão sendo considerados e toda a informação relacionada aos possíveis movimentos, assim como sua informação proprioceptiva e as percepções relacionadas a ruídos no cenário (PATIL, TURNER, 2008).

Os atuadores de neuropróteses auxiliam a realização do movimento, após a informação ser extraída dos sinais detectados. A qualidade do movimento criado pelo atuador é dependente do tipo e quantidade do fluxo de informações, altos fluxos de informação são requerimentos ao produzir os movimentos desejados. De maneira geral, os sinais de comando podem necessitar de interpretações e modulações adicionais nos atuadores, conforme o nível de detalhes dos sinais disponíveis e da inteligência do dispositivo sendo utilizado (PATIL, TURNER, 2008).

De acordo com Musatto e de Avila e Silva (2014) o desenvolvimento das neuropróteses — e consequentemente das próteses biônicas — é limitado por algumas questões, como a biocompatibilidade, o aprimoramento da decodificação dos sinais neurais e a capacidade da prótese no controle dos movimentos. É destacada, também, a importância da inclusão

de um sentido de posição, pois deve ser percebida como uma parte do corpo, a extensão natural de si.

Com seu foco na recuperação dos movimentos, é proposta, pela junção da Interface Cérebro-Máquina e próteses, a experimentação das sensações de tato. Experiências feitas com animais resultaram na possibilidade de acrescentar a percepção de temperaturas e sensação de tato na interface em relação às próteses.

A Recuperação da Autonomia

Nas premissas dos dispositivos abordados anteriormente, encontra-se principalmente a restauração da autonomia. A autonomia pode ser definida como a capacidade de governar a si, as próprias ações e condutas de modo geral (VARELIUS, 2006).

Deci (1997) menciona a existência de uma necessidade de possuir autonomia pessoal, onde o indivíduo sente que seu comportamento e ações são decididos por ele, e não por meios externos, onde possíveis falhas ou a perda da autonomia podem gerar variadas consequências, dentre elas, diminuição do bem-estar e problemas de adaptação.

Situações e experiências que atingem o sentimento de autonomia de um indivíduo — o que lhe faz sentir com capacidade de escolha — podem causar diminuição da motivação e ter consequências negativas (DECI, 1997).

Segundo Riberto *et al.* (2005), no caso de indivíduos amputados ou com desabilitações que limitam os movimentos motores, a perda da autonomia se dá em atividades cotidianas, tarefas como higiene pessoal, alimentação, vestir-se e afins. Dessa forma, os sentimentos e percepções relacionados à forma como esses indivíduos interpretam sua situação pode levar a queda da motivação, do bem-estar, levar a sentimentos de derrotismo ou sofrimento em relação à perda das atividades anteriores, dentre outras consequências. Com os procedimentos de implantação dos dispositivos — sendo eles tanto invasivos quanto não-invasivos — a autonomia pode ser recuperada, ao recuperar o controle motor e permitir a realização de atividades cotidianas com melhor desempenho, como voltar a realizar atividades específicas que até então estavam impossibilitadas de ocorrer.

■ PRÓTESES DE MÃO

Várias pesquisas (FIGUEIREDO, Laura Cesar, 2016) têm sido desenvolvidas visando implementar próteses biônicas, e seu uso não é novo. Desde a antiguidade, de acordo com (Hunold *et al.*, 2014), elas vêm sendo utilizadas na tentativa de dar aos indivíduos que não têm um ou mais membros uma melhor aparência e ajudar em algumas tarefas do dia a dia.

Os egípcios foram os pioneiros no uso de tecnologia de próteses, sendo que os membros protéticos eram feitos de fibras, e tinham uma função mais psicológica do que estética. Segundo Norton, 2007 afirma que a primeira prótese foi descoberta em uma múmia egípcia: uma prótese do dedo do pé, datada por volta de 300 a.C. Aponta também que, em 1858, foi descoberta uma perna artificial de bronze e ferro em Cápuia, na Itália, a qual possuía um núcleo de madeira, aparentemente para um amputado abaixo do joelho.

Ainda de acordo com Norton, 2007, foi no período da Renascença que as próteses evoluíram. Esse período marcou o início de novas perspectivas de arte, filosofia, ciência e medicina.

As próteses eram geralmente feitas de ferro, aço, cobre e madeira, mas ainda assim tinham função mais estética do que funcional. O que se percebe é que o uso de próteses continuará evoluindo, na década de 1950, apenas 4,9% da população atingia a idade de 65 anos. Em 2007, quase 20% tinha mais de 65 anos, e esse cenário está previsto para ser superior a 35% em 2050. Assim, a assistência por dispositivos robóticos para suprir as necessidades dessas pessoas tende a ser maior nos próximos anos. Com essa demanda, projetistas de robótica buscam adequar a realidade dos indivíduos com necessidades especiais (Norton, 2007).

Com o tempo, as próteses passaram por mudanças, mas o desafio é criar meios que possibilitem que as mesmas estejam acessíveis e disponíveis a uma abundância de pessoas. Mesmo com essa preocupação e com o surgimento dessa grande demanda, nota-se que, comercialmente, existe disponibilização de próteses funcionais, mas com alto custo. Como exemplo, na Escócia foi desenvolvida, pela companhia Touch Bionics, uma prótese biônica de mão chamada i-Limb®. Essa prótese possui, em sua estrutura, motores que permitem a mão dobrar as articulações de cada dedo, e também voltar a posição normal depois de um tempo de inatividade (Figura 1) (AMERICAS, 2022).

Figura 1. i-Limb (AMERICAS, 2022).



A mão humana consegue realizar um repertório complexo de movimentos sofisticados que nos permite interagir com nosso ambiente e nos comunicarmos uns com os

outros. O polegar opositor, uma raridade na natureza, nos ajudou a alcançar altos níveis de destreza, permitindo que nossa evolução prossiga rapidamente sobre outras criaturas. Para realizar movimentos complexos da mão, precisamos sintetizar uma enorme quantidade de informações somestésicas sobre nosso ambiente, incluindo toque fino, vibração, dor, temperatura e propriocepção (CLEMENT, R. G. E. *et al.*, 2011).

Os córtices sensorial e motor abrangem áreas grandes e complexas do cérebro, sendo dedicados a interpretar a vasta entrada sensorial e usá-la para ajustar o controle motor de mais de quarenta músculos separados do antebraço e da mão. Este arranjo delicado e sofisticado nos permite realizar atividades de precisão, como escrever e abrir portas, evitando simultaneamente estímulos nocivos (CLEMENT, R. G. E. *et al.*, 2011).

A perda de uma mão pode ser devastadora e, ao contrário da perda de uma perna, as limitações funcionais após a perda da mão são catastróficas. As principais causas de perda da mão são traumas, disvascularidade e neoplasia. Os homens são significativamente mais propensos do que as mulheres a perder as mãos, com 67% dos amputados de membros superiores sendo do sexo masculino. As amputações de membros superiores ocorrem mais comumente durante os anos produtivos de trabalho, com 60% entre as idades de 16 e 54 anos. As demandas funcionais neste grupo de pacientes são altas e suas expectativas de um membro protético espelham isso (CLEMENT, R. G. E. *et al.*, 2011).

Algumas centenas de anos atrás, um amputado de mão teria sido condenado a uma prótese de gancho que tinha função limitada e carregava um estigma social significativo. No entanto, hoje em dia, um amputado de mão pode esperar uma mão de substituição que reproduza toda uma série de funções normais da mão e se pareça notavelmente com a vida. Avanços significativos na tecnologia da mão biônica ocorreram e esse campo agora é considerado um triunfo da excelência da engenharia médica (CLEMENT, R. G. E. *et al.*, 2011).

A opção alternativa para uma mão biônica é um transplante de mão, realizado pela primeira vez em 1999. 2 Houve sucesso neste campo, mas há grandes desvantagens no uso generalizado do transplante. A exigência de um membro doador que corresponda ao receptor em termos de tamanho e forma significa que membros doadores adequados são raros. A confiança do receptor na imunossupressão de longo prazo e a complexidade da cirurgia de transplante provavelmente limitarão o transplante como a principal opção reconstrutiva para amputados. Portanto, a opção mais difundida para um amputado de membro superior é optar por uma substituição artificial (AMAN, Martin, 2019).

A mão protética moderna foi projetada para se aproximar do membro natural tanto na forma quanto na função. 5 Apesar do fato de que a mão biônica foi recentemente aclamada como um triunfo da excelência da engenharia 6 ela continua sendo um substituto inferior à mão real e, conseqüentemente, há uma série de barreiras à sua aceitação entre a população

de amputados de membros superiores. Isso impede que a mão protética atinja o objetivo final de qualquer prótese: 100% de aceitação por seus usuários (AMAN, Martin, 2019).

Então, quão perto estamos de criar uma mão artificial que é uma réplica perfeita da coisa real? Podemos esperar que os avanços médicos e de engenharia continuem a melhorar a natureza e, eventualmente, forneçam uma mão biônica que aumenta nossa força, velocidade e habilidades muito acima das normas humanas? Seremos todos como o Homem de Seis Milhões de Dólares ou a Mulher Biônica um dia?

Aceitação do paciente

Braços biônicos de design robótico mais antigos não podiam ser anexados ao corpo. Em vez disso, eles precisavam ser montados em uma mesa ou cadeira. Eles eram pesados e complicados com uma variedade de dispositivos de entrada de controle, como entrada de voz ou controle de computador, que eram inaceitáveis para muitos usuários. As mãos biônicas atualmente disponíveis conseguem alcançar uma melhor variedade de empunhadas funcionais, incluindo chave, potência, precisão, ponto de índice e estacionamento do polegar, que conferem uma aplicação muito mais ampla das substituições do que era possível anteriormente. A desvantagem é que é necessário um treinamento extensivo com a contribuição da terapia ocupacional para alcançar uma função bem-sucedida e, apesar disso, mesmo os melhores membros biônicos ainda não chegam perto de replicar as funções intrínsecas complexas da mão inata (AMERICAS, 2022).

A manutenção de membros biônicos requer informações especializadas e geralmente exige que o componente afetado seja enviado de volta ao fabricante. A introdução de componentes modulares como o iLimb Hand (Figura. 1) permite que os dígitos alimentados sejam individualmente removidos para manutenção, de modo que o usuário possa manter alguma funcionalidade com o restante do membro intacto. O desenvolvimento de componentes modulares também significa que as substituições protéticas podem ser adaptadas personalizadas para amputados parciais de mão que anteriormente não estavam disponíveis (AMERICAS, 2022).

A NOVA BIÔNICA E HÁ POSSIBILIDADE DE UM MUNDO LIVRE DE DEFICIENTES

Em 2014, o professor de biomecatrônica da Harvard-MIT, Hugh Herr, causou frisson na comunidade científica e tecnológica internacional ao apresentar e demonstrar o uso de sua nova invenção. Em sua palestra ao TED Talk Herr, ele mesmo um amputado duplo,

aparece utilizando as mais novas próteses biônicas com ligação neurológica inventadas por ele e sua equipe do Biomechatronics Group (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

Nessa apresentação, o pesquisador surpreende sua plateia ao andar de um lado para o outro sob suas novas próteses. Em cada uma de suas pernas, logo abaixo do joelho, as peças se encaixavam e formavam uma figura extremamente híbrida. As próteses em cinza grafite possuíam um desenho futurístico onde os “pés” se apresentavam com plataformas articuladas que sustentavam e davam movimento ao usuário. A surpresa dos espectadores parecia ser exatamente o efeito esperado por Herr e tem como causa o fato das novas próteses neuro biônicas emularem perfeitamente o andar humano organicamente bípede (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

Embasando sua fala em um viés de completa integração futura entre o corpo humano e as tecnologias biônicas, a proposta de Herr se resume na eliminação da incapacidade. Hugh Herr relembra como a “biônica redefiniu sua corporalidade” após ter amputado, em 1982, suas duas pernas porque um acidente de alpinismo (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021). O cientista conta um pouco de sua história para dar sentido ao seu projeto de inovações biomecânicas:

A tecnologia havia eliminado minha deficiência e me permitido uma nova proeza em escaladas. Como jovem, imaginei o mundo futuro onde tanto avanço tecnológico pudesse livrar o mundo da deficiência, um mundo onde implantes neurais permitiriam ao cego enxergar, um mundo no qual o paraplégico pudesse andar através dos exoesqueletos do corpo. Infelizmente, devido às deficiências na tecnologia, há um excesso de deficientes no mundo (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

De fato, o fim das deficiências, ou incapacidades, parece ser o mote que produz iniciativas especializadas como as de Hugh Herr e sua equipe de bioengenharia. Herr relembra de sua impotência enquanto um jovem amputado para exaltar como a tecnologia eliminou sua deficiência através de modificações diretamente corporais. Implantes internos e externos acoplados no corpo humano seriam a própria possibilidade de potência humana, a própria possibilidade de eliminar as nossas limitações (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

A fala de Herr nos deixa muitas dúvidas sobre o que exatamente ele chama de deficiência. Em certos momentos a deficiência aparece como algo inerente a todos os seres humanos, e nesse sentido o corpo orgânico é o que constitui nossa humanidade devido à partilha de uma fragilidade natural. Em outros pontos, existem brechas para um entendimento de que as deficiências são efeitos do próprio mundo, sem tecnologias o bastante, ou com tecnologias precárias, para complementar a natureza humana (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

Propostas como a mencionada aqui não são raras quanto ao sentido, quase literal, de eliminação das deficiências/incapacidades humanas. Ao mesmo tempo, em que delimitam um ponto ótimo, ou seja, a busca pela total funcionalidade dos corpos humanos em sua

relação com o mundo, esses discursos e práticas tecnocientíficas propõe uma hibridação entre humanidade e artificialidade que estremece a própria ideia do que é humano, inumano ou sub-humano (SIBILIA, 2005). Assim como estremece as próprias considerações do que é tecnológico e artificial.

A inovação da tecnologia criada sobre a liderança científica e moral de Hugh Herr está exatamente na ideia de escamotear as possível debilidade humanas, traduzidas e metaforizadas no não enxergar ou andar, através da intervenção biônica no corpo. Dessa forma, o que essa tecnologia garante não é uma simples substituição da mecânica dos movimentos orgânicos humanos por uma mecânica artificial de mobilidade (MARASCO, Paul D. *et al.*, 2021).

O que efetivamente a tecnologia do Biomechatronics Group garante é a própria naturalidade da biomecânica orgânica humana por próteses capazes de emular, exatamente, essas funções (AARON, *et al.*, 2006). Em suma, a proposta de Herr é equalizar o desejo do indivíduo de ultrapassar determinados limites corporais com as reais possibilidades para tal, acoplando de maneira natural dispositivos biônicos nesse processo. Nas palavras de Herr: “A biônica não se trata só de tornar as pessoas mais fortes e rápidas. Nossa expressão e nossa humanidade podem ser incorporadas à eletromecânica” (MARASCO, Paul D. *et al.* 2021).

■ RESULTADOS

Com a interface, que interpreta informações neurofisiológicas com objetivo de reparar os movimentos, e utilizando-se das próteses biônicas e neuropróteses, há grande benefício atual e futuro para aqueles que se encontram incapacitados, no qual o foco do trabalho se concentrou naqueles que perderam membros corporais. Em suma, as questões propostas foram esclarecidas e conceituadas.

Dessa forma, é possível visualizar benefícios para a comunidade na totalidade, sendo que com a tecnologia atuando a serviço da restauração da qualidade de vida dos indivíduos, que, com tais tecnologias, conseguem retomar sua autonomia, que em situações de desabilitações, é perdida.

Os efeitos dessas vivências repercutem nas variadas instâncias do ser não somente a física, mas também, a emocional, psicológica, social. Por exemplo, atletas olímpicos que usam próteses e podem voltar a exercer a atividade da qual gostam, ou ainda, a transformação de estados de tristeza, derrotismo, depressão e afins, ao ter sua autonomia restaurada e a possibilidade de voltar a ter uma vida autônoma, levando ao bem-estar.

Embora ainda sejam tecnologias recentes, com um campo vasto de pesquisa e muito a se desenvolver também em relação à acessibilidade dos indivíduos aos dispositivos, pode-se notar a diferença substancial que poderá ser causada por tais dispositivos.

■ CONCLUSÃO

As próteses de mão da Idade Média estava presente apenas como um adereço. Hoje temos próteses biônicas de mão que dão funcionalidades melhores para as pessoas, são aceitáveis para mais pacientes, sendo duráveis e confortáveis. No entanto, essas próteses ainda precisam superar obstáculos consideráveis para imitar ou mesmo melhorar a mão intrínseca e trazem implicações econômicas significativas.

Os avanços neste campo da medicina são exponenciais e é provável que dentro de 10 anos haja membros comercialmente disponíveis que proporcionem sensação e controle motor preciso desde o primeiro dia. Ter capacidades que superam as nossas ainda pode soar mais como ficção científica do que fato científico, mas pode trabalhar coeso entre medicina.

■ SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Partindo deste trabalho, há um vasto campo de pesquisa para ser destrinchado, as próteses biônicas e neuropróteses abrangem uma área de conhecimento muito vasta, desde neurologia até sistemas de aprendizagem de máquina.

Entender o cérebro humano é uma coisa que ainda estamos longe de ter acesso. Porém, ensinar uma máquina a pensar como nós já é uma coisa que está se tornando possível com a tecnologia atual, ou seja, podemos partir deste ponto e estudar como fazer as tecnologias entenderem comandos interativos e como as próteses podem usufruir desta tecnologia para beneficiar a população.

■ REFERÊNCIAS

1. ARTHUR, W. Brian. **The nature of technology: What it is and how it evolves**. Simon ARTHUR, W. Brian. The nature of technology: What it is and how it evolves. Simon and Schuster, 2009.
2. DECI, Edward L.; FLASTE, Richard. Why we do what we do: The dynamics of personal autonomy. GP Putnam's Sons, 1995.
3. GIL, Antonio Carlos et al. Como elaborar projetos de pesquisa. São Paulo: Atlas, 2002.
4. JEBARI, Karim. Brain machine interface and human enhancement—an ethical review. *Neuroethics*, v. 6, n. 3, p. 617-625, 2013.
5. LUCIVERO, Federica; TAMBURRINI, Guglielmo. Ethical monitoring of brain-machine interfaces. *Ai & Society*, v. 22, n. 3, p. 449-460, 2008.
6. LEBEDEV, Mikhail A.; NICOLELIS, Miguel AL. Brain-machine interfaces: past, present and future. *TRENDS in Neurosciences*, v. 29, n. 9, p. 536-546, 2006.

7. MUSATTO, G. G.; DE AVILA E SILVA, S. Perspectivas e Potencialidades da Interface Cérebro-Máquina. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, n. 13, pp. 51-56. 2014.
8. RIBERTO, Marcelo. Independência funcional de pacientes com lesão medular. Acta fisiátrica, v. 12, n. 2, p. 61-66, 2005.
9. SCHUCH, C. M. Part I – Prosthetic Design: Basic Concepts. Consumer's Guide for Amputees: A Guide to Lower Limb Prosthetics. Vol. 8, Issue 2. 1998.
10. VARELIUS, Jukka. The value of autonomy in medical ethics. Medicine, Health Care and Philosophy, v. 9, n. 3, p. 377-388, 2006.
11. FIGUEIREDO, Laura Cesar; CORRÊA, Guilherme. A INTERFACE CÉREBRO-MÁQUINA E AS PRÓTESES BIÔNICAS PARA A RECUPERAÇÃO DA AUTONOMIA. O evento proposto II MOSTRA INTEGRADA DE ENSINO PESQUISA E EXTENSÃO foi coordenado , 2016.
12. CLEMENT, R. G. E.; BUGLER, Kate E.; OLIVER, Christopher W. Bionic prosthetic hands: A review of present technology and future aspirations. The surgeon, v. 9, n. 6, p. 336-340, 2011.
13. AMAN, Martin. Bionic reconstruction. Wiener Klinische Wochenschrift, v. 131, n. 23, p. 599-607, 2019.
14. AMERICAS, Össur. i-Limb ®: Access titânio. In: Össur Americas. Össur Americas. America, 1 jan. 2022. Disponível em: <https://www.ossur.com/en-us/prosthetics/arms/i-limb-access-titanium>. Acesso em: 30 out. 2022.
15. SIBILIA, Paula. El Hombre Postorgânico: Cuerpo, Subjetividad Y Tecnologías Digítales. 1ª ed. - Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica, 2005.
16. AARON, Roy K. Horizons in prosthesis development for the restoration of limb function. Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, Volume 14, Number 10, 2006. pp. S198-S204.
17. MARASCO, Paul D. et al. Neurorobotic fusion of prosthetic touch, kinesthesia, and movement in bionic upper limbs promotes intrinsic brain behaviors. Science Robotics, v. 6, n. 58, p. eabf3368, 2021.
18. MUSATTO, G. G.; DE AVILA E SILVA, S. Perspectivas e Potencialidades da Interface Cérebro-Máquina. Revista de Sistemas de Informação da FSMA, n. 13, pp. 51-56. 2014.
19. PARAG, G. P.; TURNER, D. A. The Development of Brain-Machine Interface Neuroprosthetic Devices. The American Society for Experimental NeuroTherapeutics. Vol. 5, 137-146. 2008.