



NEUROERGONOMIA: UM DIÁLOGO ENTRE AS NEUROCIÊNCIAS E A ERGONOMIA

NEUROERGONOMÍA: UN DIÁLOGO ENTRE NEUROCIENCIAS Y ERGONOMIA

NEUROERGONOMICS: A DIALOGUE BETWEEN NEUROSCIENCES AND ERGONOMICS

Pires, Emmy Uehara¹

Caruzo, Matheus Svoboda²

Resumo

Ao projetar sistemas eficazes de homem-máquina, é preciso compreender a mente em relação ao trabalho e tecnologia (Ergonomia) e a mente não pode ser entendida sem estudar o cérebro (Neurociências). O estudo do cérebro e da mente juntamente com o domínio complexo de trabalho é denominado Neuroergonomia. Assim, o presente artigo se configura como uma revisão de literatura atualizada sobre os principais marcos e conceituação dessa nova área, ressaltando seus possíveis métodos utilizados em pesquisas e na prática cotidiana, bem como as aplicações e perspectivas futuras. Desde seu surgimento formal em 2003 até os dias de hoje, a Neuroergonomia tem auxiliado diversas áreas, tais como a saúde, a educação e a indústria, a desenvolverem produtos mais adequados às necessidades do usuário e condições mais seguras e eficientes em diversos postos de trabalho, ambientes domésticos e usuários em geral.

Palavras-chave: Neuroergonomia; Neurociências; Cérebro.

Resumen

Al diseñar sistemas hombre-máquina efectivos, es necesario comprender la mente en relación con el trabajo y la tecnología (Ergonomía) y la mente no se puede comprender sin estudiar el cerebro (Neurociencia). El estudio del cerebro y la mente junto con el complejo dominio del trabajo se llama Neuroergonomía. Así, el presente artículo se configura como una revisión bibliográfica actualizada sobre los principales hitos y conceptualización de esta nueva área, destacando sus posibles métodos utilizados en la investigación y en la práctica diaria, así como

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Professora Pesquisadora do magistério superior - Departamento de Psicologia (DEPSI). Coordenadora do Programa de Pós-graduação Stricto Sensu em Psicologia. E-mail: emmy.uehara@gmail.com

² Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), Seropédica, Rio de Janeiro, RJ – Brasil. Mestre em Psicologia - Programa de pós-graduação em Psicologia (PPGPSI/UFRRJ). E-mail: psicaruzo@gmail.com



sus aplicaciones y perspectivas de futuro. Desde su aparición formal en 2003 hasta la actualidad, la Neuroergonomía ha ayudado a diversas áreas, como salud, educación, industria, a desarrollar productos más adaptados a las necesidades del usuario y condiciones más seguras y eficientes en diferentes lugares de trabajo, entornos, hogares y usuarios en general.

Palabras clave: *Neuroergonomía; Neurociencias; Cerebro.*

Abstract

To design effective systems for human-machine, one must understand the mind in relation to work and technology (ergonomics) and mind can not be understood without studying the brain (neuroscience). Studying the brain and the mind together with the complex area of work is called Neuroergonomics. Thus, this article is configured as a updated literature review on key milestones and conceptualization of this new area, highlighting its possible methods used in research and in everyday practice, as well as applications and future prospects. Since its inception in 2003 until the formal today, the neuroergonomics has helped many fields such as health, education, industry, to develop products more suited to the user's needs and conditions safer and more efficient in various jobs, environments domestic and general users.

Keywords: *Neuroergonomics; Neurosciences; Brain.*

1. Introdução

A ergonomia (ou o estudo dos fatores humanos) vem evoluindo como uma disciplina única e independente, cujo foco se dá na natureza da interação homem-máquina, visto por uma perspectiva científica plural de diversos outros campos de conhecimento, tais como a engenharia, design, psicologia e gerenciamento de sistemas humanos compatíveis. Abrahão e colaboradores (2009) introduzem a ergonomia como uma área de aplicação e produção de conhecimentos sobre o trabalho, classificando-a como uma disciplina dirigida a uma interpelação sistêmica de aspectos da atividade humana. Wickens e colaboradores (1998) descrevem que o campo da ergonomia se desenvolveu principalmente a partir de uma preocupação restrita ao entendimento da interação humana com as ferramentas físicas. Essa interação em questão serviu de ponto de

interseção para a troca de diferentes disciplinas como a psicologia e engenharia, por exemplo, possibilitando o surgimento da ergonomia (Wickens *et al.*, 1998).

É por esta característica de interação de diversas outras disciplinas, que Chapanis (1996) define a ergonomia como “um campo multidisciplinar” para a contribuição mútua entre a psicologia (inicialmente a psicologia cognitiva experimental), a antropometria (um ramo aplicado da antropologia), a fisiologia aplicada, a medicina do trabalho, a engenharia, a estatística e o design industrial. Assim, de acordo com a *International Ergonomics Association* (2000), a ergonomia se define como uma disciplina científica independente, que busca compreender as interações entre os seres humanos e outros elementos de um



sistema. Ainda, a ergonomia é a profissão que se utiliza de teorias, princípios, dados e métodos para projetar e otimizar o bem-estar humano e o desempenho geral do sistema. Ergonomistas planejam, projetam e avaliam tarefas, produtos, ambientes e sistemas, alinhando-os com as necessidades, habilidades e limitações das pessoas (Abrahão et al., 2009).

Ao mesmo tempo, a partir de um recente esforço colaborativo entre diferentes disciplinas, as crescentes neurociências têm provocado novos olhares sobre os diversos aspectos do funcionamento do cérebro e sua relação com a cognição e comportamento humano. Apoiada nos atuais avanços tecnológicos e científicos, esse campo apresenta um avanço cada vez mais profundo no conhecimento da atividade cerebral e sua relação com os diferentes aspectos da natureza humana. Essa convergência de diversas disciplinas – tais como neuroanatomia, neurofisiologia, neuroimagem, neurologia, psicologia, psiquiatria, e mais recentemente, genética, inteligência artificial, engenharia e ergonomia – tem gerado o surgimento de interessantes interações nos diferentes campos de saber e, conseqüentemente, novas abordagens para antigas questões (Bennett & Hacker, 2003). Pormenorizando os fundamentos das neurociências, Squire e colaboradores (2012) exploram as ramificações dessa área de conhecimento, determinando-a como um agrupamento de ciências que utilizam a compreensão do sistema nervoso como paradigma para investigar o componente biológico do comportamento.

Por ser um empreendimento enorme, atualmente as neurociências abrangem desde estudos de moléculas que agem na transmissão neural até estudos com imagens por ressonância magnética na

observação de toda a atividade cerebral. Em termos gerais, se configura como um ponto de convergência dessas diversas áreas inter-relacionadas, com o único objetivo de integrar o conhecimento sobre a atividade cerebral em seus diferentes níveis de organização na produção da cognição e comportamento humano. Para além da biologia molecular do sistema nervoso, as neurociências abarcam, também, emoções, cognições e comportamentos, subdividindo-se em: neurociência molecular; neurociência celular; neurociência sistêmica; neurociência comportamental; e neurociência cognitiva (Squire et al., 2012).

Assim, o atual desenvolvimento de novas tecnologias e sua aplicação na [neurociência cognitiva, bem como o crescimento do campo da ergonomia em sua multidisciplinaridade, levam a um inevitável (e frutífero) encontro entre essas duas áreas de saber. A união entre a ergonomia tradicional com as recentes neurociências possibilita, portanto, aproveitar as considerações desenvolvidas por ambos os campos para o crescimento e aprimoramento do conhecimento atual sobre os fatores humanos em todos os seus aspectos. Dessa forma, a neuroergonomia representa o campo de conhecimento onde ergonomia e neurociências se sobrepõem, com o objetivo de compreender os fatores humanos a partir do estudo do funcionamento cerebral.

Tendo isto em vista, o presente estudo tem como objetivo apresentar, de maneira introdutória, os principais aspectos do campo emergente da neuroergonomia, seus métodos, aplicações de pesquisa e perspectivas futuras de trabalho. Para alcançar este objetivo, realizamos uma revisão teórica atualizada dos artigos e livros mais relevantes nessa nova temática.



2. Afinal, o que é neuroergonomia?

Tanto as neurociências quanto a ergonomia – disciplinas representantes da neuroergonomia – possuem suas constituições formais no século XX. Desde então, o impressionante desenvolvimento apresentado pelas neurociências desde seu surgimento na década de 50, assim como o progresso gradual e constante, mas não menos importante, da ergonomia podem ser atribuídos a um grande avanço tecnológico desse período, especialmente a partir do surgimento dos computadores (Wilson, 2000). No entanto, podemos observar que estes dois campos apresentam desenvolvimentos independentes.

Em geral, não houve uma verdadeira troca entre a ergonomia e as neurociências ao longo do desenvolvimento de ambos os campos. Pode-se dizer, na verdade, que de certa forma a ergonomia não prestou muita atenção para os resultados dos estudos relativos aos mecanismos cerebrais subjacentes humanos aos processos perceptivos, cognitivos, afetivos e motores desenvolvidos pelas neurociências. Esse relativo “negligenciamento” pelos ergonomistas é compreensível já que esta disciplina tem suas raízes na psicologia dos anos 1940, predominantemente behaviorista (Fafrowicz & Marek, 2007). Posteriormente, o surgimento da psicologia cognitiva nos anos 1960 influenciou os estudos em ergonomia, mas a maior parte das neurociências continuou a ser ignorada. Isto se deu por um distanciamento ainda existente entre os estudos neurocientíficos e emergente ciência cognitiva (Dennett, 1991).

No entanto, é apenas a partir da década de 1990 que ocorre uma aproximação mais explícita entre a psicologia cognitiva e os trabalhos em

neurociências (Gazzaniga, 2000). Com o crescimento da neurociência cognitiva, uma nova revolução em nossa compreensão sobre a cognição humana ocorreu. Diante disso, já não é mais possível descrever as características da ação e da cognição humana, de maneira científica, sem alguma referência aos processos do cérebro humano (Posner, 2003). Essa nova abordagem nos estudos cognitivos, a partir da interação com as neurociências possibilitou, conseqüentemente, uma aproximação entre a própria ergonomia e os estudos neurocientíficos. É a partir do encontro dessas diferentes disciplinas – psicologia cognitiva, neurociências e ergonomia – que a neuroergonomia surge.

O surgimento da neuroergonomia, de acordo com Fafrowicz e Marek (2007), foi estimulado por dois grupos de fatores: o primeiro, relacionado ao desenvolvimento de novos métodos de exame não-invasivos do cérebro, tais como a tomografia por emissão de pósitrons (*positron emission tomography* - PET Scan), imagem funcional por ressonância magnética (*functional magnetic resonance imaging* - fMRI), magnetoencefalografia (MEG), eletroencefalograma (EEG) e o eletrooculograma (EOG), enquanto o segundo grupo é ligado a tecnologias avançadas, em que seu desenvolvimento é uma fonte de novas exigências para os trabalhadores. Os fatores mais importantes são as altas exigências no que concernem ao funcionamento cognitivo, carga mental e cognitiva do trabalho, entre outros. De acordo como Metha e Parasuraman (2013), o surgimento da neuroergonomia preenche lacunas referentes às bases neurais do desempenho físico e cognitivo que não foram respondidas com as avaliações ergonômicas tradicionais, compreendendo



não apenas como as pessoas interagem com os sistemas de trabalho, mas também como e por que eles atuam de determinada maneira

De fato, o termo “neuroergonomia” é de origem recente. Em seu atual significado, teve sua primeira menção em 2003 na edição especial da revista “*Theoretical Issues in Ergonomics Science*” (Questões teóricas da ciência ergonômica). Considerado por Parasuraman (2003) a proclamação da nova subdisciplina científica, a divulgação da neuroergonomia nessa edição foi constituída por treze artigos contendo 250 páginas, que apresentaram uma espécie de princípio, ilustrando essa nova área de conhecimento. Posteriormente, em 2007, o termo recebeu maior força com o lançamento do livro *Neuroergonomics: The Brain at Work* (Neuroergonomia: O Cérebro em Funcionamento), editado por Raja Parasuraman e Matthew Rizzo. Mas, é somente em julho de 2010, que é realizado em Miami/Flórida a primeira conferência internacional de neuroergonomia.

A partir disso, novas pesquisas estão sendo realizadas em diversas universidades e laboratórios localizados principalmente nos Estados Unidos, tais como: Laboratório de ciência cognitiva da *Catholic University of America* (Washington); Departamento de engenharia industrial e de sistemas e Psicologia e Neurociência da *Ohio State University* (Columbus); *Center of Excellence in Neuroergonomics, Technology, and Cognition* (CENTEC) na *George Mason University* (Virgínia); Departamento de neurologia, Divisão de neuroergonomia da *University of Iowa* (Iowa); Departamento de psicologia da *Old Dominion University* (Norfolk); e Departamento de psicologia e no Instituto de simulação e treinamento da *University of Central Florida* (Florida).

Pesquisas em outros continentes, por exemplo, podem ser encontradas na Polônia - Departamento de neuroergonomia da Jagiellonian University - e em Taiwan, no Centro de pesquisas do Cérebro (*Brain Research Center*) da *National Chiao Tung University e University System of Taiwan*. No Brasil, até a presente data, observa-se uma escassez de estudos e centros de pesquisa sobre neuroergonomia que utilizem esse termo como norteador conceitual. Dentro os programas que possuem linhas de pesquisa e produzem estudos e palestras sobre o tema, podemos citar como exemplo o Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento da Universidade Federal de Santa Catarina.

Segundo Parasuraman (2003), a neuroergonomia é o estudo do cérebro e do comportamento no trabalho. Como apresentado anteriormente, essa área interdisciplinar de pesquisa e prática surge a partir das disciplinas de neurociências e ergonomia (ou fatores humanos), com o intuito de maximizar os benefícios de cada um dos campos. A finalidade não é somente estudar as estruturas e funções cerebrais, que provém das neurociências, mas também fazê-lo no âmbito da cognição e do comportamento humano no trabalho, em casa, no transporte e em outros ambientes do cotidiano. Mais recentemente, Mehta e Parasuraman (2013) revisaram o tema, descrevendo que a neuroergonomia fornece informações valiosas sobre a função e o comportamento do cérebro em ambientes naturais, de maneira a melhorar tanto o bem-estar, quanto o desempenho dos sistemas.

Os estudos em neurociências revelam a existência de redes neurais, que formam diversos sistemas cerebrais específicos na execução de determinada função cognitiva. A partir disso, pode-se



observar com mais precisão, por exemplo, o tempo e as estruturas específicas envolvidas na execução de determinada tarefa ou na realização de operações mentais particulares. Ao se aplicar tais possibilidades de estudo nos trabalhos de ergonomia, podemos notar uma mudança na abordagem adotada.

Como apontam Fafrowicz e Marek (2007), na abordagem tradicional da ergonomia, as funções mentais, cognitivas e emocionais do sujeito são consideradas como construtos teóricos que servem de ponto de partida para o trabalho. A partir de uma abordagem da neuroergonomia, os estudos se concentram nas estruturas neurais envolvidas na ação do sujeito. Assim, não são mais os construtos teóricos que guia o trabalho – como na abordagem tradicional ergonômica – mas sim o próprio funcionamento cerebral que pode (ou não) ser convergente com o que foi predito nesse constructo. A função de estruturas neurais particulares ativas durante o desempenho de uma tarefa de trabalho se torna o ponto de partida. Ao unir a abordagem epistemológica das neurociências com os estudos em ergonomia, a neuroergonomia surge como uma nova perspectiva e abordagem de trabalho (Fafrowicz & Marek, 2007).

A neuroergonomia incide sobre as investigações das bases neurais de funções perceptivas e cognitivas, tais como ver, ouvir, lembrar, decidir e planejar, em relação às tecnologias e configurações no mundo real. Isto é, como o cérebro humano interage com o mundo através de um corpo físico. Ao mesmo tempo, a neuroergonomia também se preocupa com a base neural do desempenho físico – o ato de agarrar, mover ou levantar objetos utilizados em trabalhos com computadores e outras máquinas (Parasuraman & Rizzo, 2007).

De acordo com Sarter e Sarter (2003), para que seja possível uma neuroergonomia, é necessário antes a adoção da perspectiva da neurociência cognitiva. Isto se deve ao fato de que ambos os campos apresentam objetivos intimamente relacionados. Ao mesmo tempo em que a neurociência cognitiva busca descobrir os mecanismos cerebrais que mediam a atividade cognitiva complexa, a neuroergonomia busca compreender como esses mesmos mecanismos cerebrais estão envolvidos na performance humana na interação com a tecnologia (Hancock & Szalma, 2003). Mehta e Parasuraman (2013) também pontuam que a neurociência cognitiva é o que vai dar as bases para compreensão da interação entre pessoas e sistemas de trabalho proposta na neuroergonomia, haja vista que para isso se faz necessário compreender as bases neurais associadas à eficiência física e cognitiva, o que a ergonomia tradicional não abarca em seu escopo.

De maneira prática, a neuroergonomia pode prever de maneira mais eficaz e natural a interação entre os seres humanos e a tecnologia. Ao entender como o cérebro realiza as tarefas complexas do cotidiano, muitos benefícios tanto para a pesquisa quanto para a prática da ergonomia podem ser proporcionados. Uma nova concepção de condições de trabalho mais eficientes e seguras podem surgir, tendo como potenciais beneficiados os desenvolvedores de tecnologias, os donos de sistemas ou a sociedade em geral cuja tecnologia é utilizada. Assim, a neuroergonomia acaba deixando de lado uma abordagem baseada exclusivamente na avaliação do desempenho ostensivo ou de percepções subjetivas do operador, como ressaltam os autores Parasuraman e Riley (1997) e Mehta e Parasuraman (2013).



3. Métodos na pesquisa e na prática da neuroergonomia

As inovações tecnológicas, amparadas nos diversos métodos de neuroimagem estrutural e funcional, aliadas às técnicas psicofisiológicas e neuropsicológicas, têm expandido o conhecimento sobre o cérebro e o comportamento humano. O emprego de métodos auxiliares à ergonomia tradicional têm sido uma peça fundamental na caracterização e entendimento dos fenômenos e das localizações dos processos relacionados ao sistema nervoso central e periférico (Gramann et al., 2017). Todo o conhecimento adquirido através das técnicas e métodos permite ao pesquisador não apenas um complemento na análise desses processos mais específicos, como também permite expandir para outras áreas.

Historicamente, muitos métodos foram desenvolvidos em áreas diversas, como a medicina e a biologia, e ao longo dos anos, vêm sendo utilizados na pesquisa e na prática de outras áreas. Desde que a neuroergonomia passou a ser estudada e aplicada, uma gama multifacetada de avanços referentes à metodologia e instrumentos de investigação do cérebro e do comportamento no trabalho foram propostos, sobretudo as ferramentas nas quais a disponibilidade ambulatorial, sensores vestíveis e análises de dados avançados possibilitam a produção de imageamentos cerebrais de pessoas, técnicas estas fortemente influentes no desenvolvimento do campo da neurociência cognitiva. (Gramann et al., 2017).

Essas técnicas podem ser divididas em duas classes. O primeiro grupo de técnicas é baseada na medição hemodinâmica cerebral (ou fluxo

sanguíneo), tais como a tomografia por emissão de pósitron (PET), imagem funcional por ressonância magnética (fMRI) e ultra-sonografia transcranial Doppler (*transcranial Doppler sonography* - TCD). O segundo grupo de métodos envolve a medição de atividade eletromagnética do cérebro, incluindo eletroencefalograma (EEG), potencial evocado relacionado a evento (ERP) e magnetoencefalografia (MEG) (Para estudo mais aprofundado, consultar Cabeza & Kingstone, 2001).

Alguns empecilhos envolvem o uso das técnicas de imageamento cerebral. Apesar do crescente desenvolvimento, nenhuma das técnicas de neuroimagem apresentadas anteriormente consegue combinar a alta resolução temporal e a espacial em conjunto. Atualmente, as medidas eletromagnéticas como os potenciais evocados fornecem a melhor resolução temporal (1 ms ou melhor) para avaliar a atividade neural, enquanto medidas metabólicas como fMRI possuem a melhor resolução espacial (1 cm ou melhor). Ao mesmo tempo, tanto o PET Scan quanto o fMRI são consideradas as técnicas menos invasivas quanto ao funcionamento cerebral (Parasuraman & Rizzo, 2007). Além do alto custo de alguns métodos, estas técnicas possuem o inconveniente de restringirem os movimentos dos participantes. O fato de limitar o movimento acaba dificultando sua utilização em alguns estudos neuroergonômicos, principalmente aqueles ligados às tarefas complexas tais como em vôos, simulação de direção ou uso de sistemas de realidade virtual. Apesar desses



empecilhos, estudos quanto ao desempenho em tarefas complexas têm sido realizados (Peres, Van De Moortele, & Pierand, 2000; Calhoun *et al.*, 2002).

Gramann e colaboradores (2017) ressaltam que a aplicação de técnicas de neuroimagem em ambientes do mundo real é extremamente desejável para a neuroergonomia, enquanto instrumentos investigativos. Os autores destacam que o desenvolvimento de novas técnicas combinado com as distintas ferramentas que possibilitam insights sobre o cérebro e as dinâmicas comportamentais darão bases mais firmes para a compreensão da interação homem-máquina. Nota-se um impasse quanto à possibilidade de ferramentas que gerem gravações móveis, permitindo análise da atividade cerebral no ambiente de trabalho. Buscando solucionar tal questão, faz-se necessário o desenvolvimento de novos sensores portáteis, bem como análises mais aprimoradas. Dessa forma, trabalhando com instrumentos que funcionem em tempo real, poder-se-á avaliar mais fidedignamente aspectos cognitivos e

emocionais ativos em ambientes ou sistemas de trabalho.

Além dos métodos apresentados acima, os testes neuropsicológicos e as medidas psicofisiológicas também podem ser utilizados na neuroergonomia. Diferentes das técnicas de neuroimagem, que se baseiam em grande parte nas estruturas cerebrais, os testes neuropsicológicos são instrumentos diagnósticos complementares utilizados na investigação das funções cognitivas de um indivíduo (White *et al.*, 2003). É através desses testes que podemos avaliar o nível de atenção, percepção, memória, linguagem, motricidade, funções executivas, entre outras habilidades cognitivas, seja ela preservada ou alterada. As medidas psicofisiológicas são registradas a partir do corpo, por exemplo, batimentos cardíacos, condutância de pele, níveis de catecolaminas urinárias, pressão sanguínea, também têm sido utilizados em estudos psicológicos e mais recentemente em ergonomia na medição de operadores em seus postos de trabalho (Kramer & Weber, 2000).

4. Algumas aplicações

4.1. Automação Adaptativa e Carga Mental de Trabalho

A automação adaptativa ou sistemas automatizados (do inglês *adaptive automation*) referem-se à atribuição flexível de funções de agentes humanos e máquinas durante as operações do sistema (Hancock & Chignell, 1987). Os sistemas automatizados fornecem um bom exemplo de incompatibilidade que pode ocorrer entre o humano e a máquina. Uma forma comum desse tipo de sistema é a prestação de suporte da máquina ao operador humano. De maneira alternativa, a

automação pode se referir à atribuição de uma função previamente realizada por humanos para máquinas. Nesses sistemas adaptativos, a divisão do trabalho durante o design e o desenvolvimento de sistemas não é fixa nem pré-específica, mas dinâmica e varia de acordo com o contexto (Rouse, 1988).

Ao mesmo tempo em que os sistemas adaptativos geram benefícios e segurança, podem ocorrer problemas na



interação entre homem-máquina, já documentadas em laboratório e em campo (Wiener & Curry, 1980; Bainbridge, 1983). Apesar de todo o dinamismo, um dos problemas observados diz respeito à carga mental de trabalho do operador. Introduzidos com intuito de reduzir a carga mental, os sistemas automatizados podem não fazê-lo ou até aumentá-la em certas ocasiões. O suporte automatizado é necessário somente quando a carga mental é relativamente elevada, de modo que operador possa se beneficiar da liberação de recursos cognitivos, proporcionados pela automação. Em outros momentos, esse suporte não precisa ser dado, caso a carga mental seja muito baixa, não havendo perigo do operador deixar de prestar atenção no sistema. Nesse caso, deve haver uma redistribuição das tarefas (Parasuraman & Mouloua, 1996).

No entanto, a adaptação da carga mental do operador torna-se dependente da capacidade de medi-la em tempo real. De acordo com Byrne e Parasuraman (1996), uma série de técnicas diferentes podem ser utilizadas, em especial as medidas do funcionamento cerebral. Ao contrário da maioria das medidas comportamentais (com exceção das tarefas motoras sucessivas), as medidas das atividades cognitivas podem ser obtidas de forma contínua. Por exemplo, quando o operador supervisiona vários sub-sistemas, medidas comportamentais como o tempo de reação ou erros no movimento podem ser registradas. Contudo, oferecem uma medida mais empobrecida do que medidas registradas diretamente da atividade cerebral.

Em alguns casos, as medidas de funcionamento cerebral podem fornecer mais informações quando associadas às

medidas comportamentais. Alterações no tempo de reação, por exemplo, podem refletir as contribuições do processamento da memória de trabalho e a resposta relacionada à carga de trabalho. Entretanto, quando combinada com a amplitude e a latência do componente P300 do potencial evocado relacionado a evento, tais mudanças podem ser mais precisamente localizadas na parte central de estágios de processamento do que a resposta em si (Wickens, 1990). Além disso, as medidas do funcionamento cerebral podem indicar não apenas quando um operador está sobrecarregado, sonolento ou cansado, mas também quais redes e circuitos do cérebro podem estar afetados.

No Brasil, alguns estudos vêm investigando a fadiga e a carga mental de trabalho em diferentes âmbitos e sistemas. Por exemplo, a atividade de operadores de caixa de supermercados, ressaltando a pesquisa no campo da ergonomia, foi estudada por Santos (2004). Embora utilizem sistemas operacionais que têm a finalidade de facilitar o trabalho, tais sistemas exigem constante atenção e dependem da capacidade de manipulação por parte dos operadores, o que acaba gerando uma carga mental excessiva. Os resultados da pesquisa indicaram uma participação expressiva de aspectos mentais e psíquicos na carga de trabalho, além da constante presença de DORT (Distúrbios Osteomusculares relacionados ao trabalho). Ainda, estudos semelhantes foram propostos em relação a operadores de trem (Melo, 2007) e operadores de sistemas de energia elétrica (Oliveira, 2009).



4.2. Aviação

Tradicionalmente, a maior influência dos fatores humanos no design da tecnologia tem sido no campo da aviação, especificamente na elaboração de displays e controles das cabines do avião (Fitts, Jones, & Milton, 1950). Com o aumento das viagens aéreas, novas propostas para o controle do tráfego aéreo e displays foram apresentados. Mas, como saber se são realmente funcionais e são eficientes?

Um exemplo pode nos ajudar a entender melhor essa questão. Ao instalar um novo sistema de monitoramento de tráfego em uma aeronave, é preciso considerar informações como a velocidade, altitude, trajetória de vôo e assim por diante, usando cores e símbolos codificados em um monitor de computador. Para sua criação, é interessante que os designers saibam quais as características dos símbolos servem para atrair melhor a atenção do piloto. Desta forma, é fundamental compreender como ocorre o processo da atenção visual, o controle oculomotor e memória de trabalho através de medidas do funcionamento cerebral. A partir dessas novas informações, pode-se determinar com mais precisão o impacto dos elementos presentes no novo display no desempenho do piloto (Wickens *et al.*, 2000).

4.3. Neuroengenharia ou Interface cérebro-máquina/computador

Ao mesmo tempo em que Fritsch e Hitzig (1870) demonstravam a excitabilidade elétrica do córtex motor, os cientistas e escritores de ficção consideravam a possibilidade de interagir com uma máquina a partir do cérebro humano. A neuroengenharia envolve usar os sinais cerebrais como um canal de

Peysakhovich e colaboradores (2018) propõem a neuroergonomia como uma opção promissora para potencializar a segurança de voos, haja vista que o erro humano ainda se mostra como a principal causa de acidentes aeronáuticos. No estudo, os autores sugerem uma estrutura de quatro estágios de integração de sistemas de rastreamento ocular em *cockpits* modernos, levando em consideração que a tecnologia de rastreamento ocular possibilita “monitorar o monitoramento”, evitando acidentes e incidentes com base no rastreamento ocular. Já o estudo de Causse e colaboradores (2013) examinou o erro de continuação de plano (*lan continuation error/PCE*), ou seja, uma falha em revisar um plano de vôo, apesar das evidências explícitas de que ele não é mais seguro, sustentados na hipótese que a emoção ou estresse podem modular a tomada de decisão e o funcionamento cognitivo de aviadores, gerando mais PCE. Realizaram dois experimentos, um comportamental (n=12) e um a partir de ressonância magnética funcional (fMRI) (n=6), concluindo que o PCE pode ser provocado por um comprometimento temporário da tomada de decisão, o que poderia ser evitado com auxílio de ferramentas neuroergonômicas.

comunicação adicional para interação humana com o ambiente, também chamada de interface cérebro-computador (*Brain-computer interfaces* – BCIs).

Atualmente, novas tentativas têm sido impulsionadas por objetivos clínicos e tecnológicos. Por exemplo, o estudo de



Loeb (1990) trouxe a percepção do som de milhares de pessoas surdas por meio de eletrodos implantados na cóclea. Nos dias atuais, uma grande força motriz por trás das interfaces cérebro-máquina surge da necessidade de proporcionar uma comunicação e um meio de agir sobre o ambiente em pacientes com limitações motoras e perdas no controle de seu corpo. Grande parte da pesquisa clínica tem-se centrado em pacientes que sofrem de paralisia total após um acidente vascular cerebral (AVC) ou doenças degenerativas, como a esclerose lateral amiotrófica (ELA) (Kubler *et al.*, 2001).

Ligado à “biocibernética”, o trabalho de Donchin (1980) e posteriormente, o de Nicoletis (2003), impulsionaram o desenvolvimento e aprimoramento de interfaces capazes de movimentar braços robóticos, controlar o movimento de cursores de mouse e operar sintetizadores de voz. As interfaces humano-computador permitem ao usuário interagir com o ambiente sem a necessidade de qualquer atividade muscular. Em vez disso, o usuário é treinado a utilizar um tipo específico de atividade mental que é associada a uma única “assinatura” elétrica cerebral. Os potenciais cerebrais são processados e classificados para fornecerem sinais controlados em tempo real a um dispositivo externo.

Felton e colaboradores (2005) desenvolveram uma interface com base no eletrocorticograma para permitir que paraplégicos redigissem cartas e outros

materiais escritos em um computador. Interfaces não-invasivas têm utilizado uma variedade de sinais cerebrais derivados de registros de EEG do córtex cerebral, incluindo EEGs quantificados de diferentes faixas de frequência (Pfurtscheller e Neuper, 2001) e ERPs, como P300 (Donchin, Spencer e Wijesinghe, 2000) e variação contingente negativa (Birbaumer *et al.*, 1999).

Nicolas-Alonso e Gomez-Gil (2012) revisaram o estado da arte sobre os BCIs, indicando o crescente interesse de cientistas em desenvolver tecnologias desse gênero. Os resultados sugeriram que muitos estudos demonstraram a precisão dos BCIs, muito embora ainda existam dificuldades relativas ao processamento de sinais cerebrais. Ainda assim, o tempo de treinamento do usuário vem sendo significativamente reduzido, possibilitando aplicações mais possíveis na vida diária de pessoas com deficiência, tais como processamento de texto, controle de cadeira de rodas, controle ambiental simples, neuropróteses, entre outros. Contudo, os autores sugerem alguns problemas que precisam ser resolvidos, a saber, riscos de infecção e problemas de estabilidade a longo prazo, a necessidade de sinais eletrofisiológicos e metabólicos que sejam mais capazes de codificar a intenção do usuário e o fato das taxas de *bits* de informação propiciadas pelos BCIs ainda serem baixas para uma interação homem-máquina realmente eficaz.

4.4. Realidade virtual e simulação

Relevante para a neuroergonomia, a realidade virtual (RV) pode replicar situações com maior possibilidade de controle existente no “mundo real”. Brooks

(1999) define a RV como uma experiência em que o usuário esteja efetivamente imerso em um mundo virtual sensível. Controlada por computador, cria um



ambiente ilusório que se baseia em telas visual, auditiva, somatosensorial e até mesmo olfativa. Permite a obtenção de medidas comportamentais e neurológicas do cérebro em pleno funcionamento durante situações que são impraticáveis ou impossíveis de se observar no cotidiano.

Devido a essas características, a RV pode ser utilizada para estudar o comportamento de operadores humanos envolvidos em tarefas perigosas sem colocá-los em risco. Além disso, também pode ser utilizada para estudar a influência de doenças, drogas, cansaço ou uso de tecnologias (como telefones celulares) ao pilotar aviões e na condução de automóvel. Da mesma forma, pode ser aplicada como uma tentativa de reduzir o risco de quedas em idosos ou de treinar estudantes para evitar equívocos e erros de principiante na realização de procedimentos médicos críticos, ao pilotar aeronaves ou na operação de maquinário pesado, assim por diante.

Ainda, a RV tem sido particularmente útil em trabalhadores cujos empregos exigem consciência espacial, coordenação motora complexa ou decisões que necessitem de avaliação de múltiplas respostas possíveis em meio a

contingências de mudança. Por fim, a RV tem se apresentado eficaz na terapia de pacientes com Transtorno de Estresse Pós-Traumático (TEPT) e na reabilitação de pessoas com deficiências motoras, cognitivas e psiquiátricas, bem como em relação a transtornos de ansiedade, compulsão alimentar e distorção de imagem corporal, como sugerido por Botella e colaboradores (2006). Os autores sugerem que, embora recentes, os estudos sobre o efeito terapêutico da RV são promissores, mostrando, por exemplo, eficácia significativa quando se compara a exposição em RV à exposição no ambiente real.

Nos dias atuais, muitos avanços técnicos puderam ser feitos, especialmente na área de realidade virtual. Melhorias em gráficos e processamento de som, reconhecimento da fala e dos gestos, o rastreamento dos movimentos através da modelagem biomecânica e software com bases de dados complexas em ambiente virtual, entre muitas outras. Dessa forma, já é possível prosseguir com as pesquisas utilizando um orçamento modesto e conhecimentos técnicos limitados (Kearney, Rizzo, & Severson, 2007).

5. Considerações

Ao abranger diretamente os campos das neurociências, ergonomia, psicologia e engenharia, a neuroergonomia acaba se beneficiando dos progressos alcançados em cada uma dessas áreas. Cada vez mais, a neuroergonomia tem expandido suas aplicações, criando novas propostas e campos de pesquisa em diversas áreas do nosso cotidiano. Mas, cabe a nós o questionamento: todo esse progresso nos levará para aonde? Devemos lembrar que

essa inquietude não é de hoje. Há aproximadamente trinta anos, Chapanis (1979) escreveu um artigo intitulado “*Quo vadis, ergonomics?*” como uma reflexão acerca do campo da ergonomia e suas perspectivas futuras. Hoje, como uma homenagem à Chapanis, Fafrowicz e Marek (2007) fazem a mesma pergunta: “*Quo vadis, neuroergonomics?*”, isto é, para onde vai essa nova área da ergonomia?



Sem dúvida, por ser um novo campo interdisciplinar, perguntas como essas ainda necessitam de respostas. Há realmente um diálogo entre os múltiplos campos da neuroergonomia? É possível desenvolver pesquisas em neuroergonomia no Brasil? Suas técnicas são financeiramente viáveis? Atualmente, já é possível desvendar os mistérios do cérebro com menos dificuldade, se compararmos há trinta anos. Os métodos atuais de pesquisa têm instigado os pesquisadores a realizarem novas perguntas e a desenvolverem novos quadros explicativos sobre o ser humano em seu trabalho e sua relação com as máquinas e os sistemas automatizados.

Os avanços neurocientíficos e tecnológicos permitiram uma maior compreensão dos circuitos cerebrais responsáveis por distintas operações da cognição humana, que além de propiciarem o entendimento sobre os mecanismos subjacentes ao desempenho em tarefas do

“mundo real”, também promovem uma melhor qualidade de vida ao trabalhador. Todo esse conhecimento pode nos levar, por exemplo, à construção de teorias mais consistentes, orientações e reformulações nos produtos, otimização das placas de sinalização e advertência, redução do erro humano, desenvolvimento de próteses neurais e toda uma nova geração de robôs. Dessa forma, todo o conhecimento pode ser aproveitado no aprimoramento de sistemas e produtos, visando condições mais seguras e eficientes em diversos postos de trabalho, ambientes domésticos e usuários em geral.

No entanto, mesmo com todo o aparato tecnológico, entender o cérebro humano – isto é, cognição e comportamento – continua sendo uma tarefa árdua. Assim, ao traçar esse breve panorama da neuroergonomia, foi possível observar que muito conhecimento está sendo gerado, mas ainda há um longo caminho pela frente.

6. Referências

Abrahão, J., Sznalwar, L., Silvino, A., Sarmet, M., & Pinho, D. (2009). *Introdução à ergonomia: da prática à teoria*. São Paulo: Blucher.

Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(1), 75-779. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-029348-6.50026-9>

Bennett, M.R. e Hacker. P.M.S. (2003). *Philosophical foundations of neuroscience*. Malden, MA: Blackwell.

Birbaumer, N. et al. (1999). A spelling device for the paralysed. *Nature*, 398(6725), 297-298. <https://doi.org/10.1038/18581>

Botella, C., García-Palacios, A., Quero, S., Baños, R. M., & Bretón-López, J. M. (2006). Realidad virtual y tratamientos

psicológicos: una revisión. *Psicología Conductual*, 3(1), 491-510. Recuperado em:

https://www.behavioralpsycho.com/wp-content/uploads/2020/04/09.Botella_14-3oa.pdf

Brooks, F. (1999). What’s real about virtual reality. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 9(6), 16-27. <https://doi.org/10.1109/38.799723>

Byrne, E.A. & Parasuraman, R. (1996). Psychophysiology and adaptive automation. *Biological Psychology*, 42(3), 249-268. [https://doi.org/10.1016/0301-0511\(95\)05161-9](https://doi.org/10.1016/0301-0511(95)05161-9)

Cabeza, R. & Kingstone, A. (2001). *Handbook of Functional Neuroimaging of Cognition*. Cambridge, MA: MIT Press.



- Calhoun, D. et al. (2002). Different activation dynamics in multiple neural systems during simulated driving. *Human Brain Mapping*, 16(3), 158-167. <https://doi.org/10.1002/hbm.10032>
- Causse, M., Dehais, F., Péran, P., Sabatini, U., & Pastor, J. (2013). The effects of emotion on pilot decision-making: A neuroergonomic approach to aviation safety. *Transportation research part C: emerging technologies*, 33, 272-281. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2012.04.005>
- Chapanis, A. (1979). Quo vadis, ergonomia? *Ergonomics*, 22(6), 595-605. <https://doi.org/10.1080/00140137908924644>
- Chapanis, A. (1996). Human factors in systems engineering. Chichester: John Wiley Press.
- Dennett, D.C. (1991). *Consciousness Explained*. Boston: Little Brown Press.
- Donchin, E. (1980). Event-related potentials: Inferring cognitive activity in operational settings. In: Gomer, F.E. (Ed.), *Biocybernetic applications for military systems* (p. 35-42). Long Beach, CA: McDonnell Douglas.
- Donchin, E., Spencer, K. M., & Wijesinghe, R. (2000). The mental prosthesis: Assessing the speed of a P300-based brain-computer interface. *IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, 8(2), 174-179. <https://doi.org/10.1109/86.847808>
- Fafrowicz, M. & Marek, T. (2007). Quo vadis, neuroergonomics? *Ergonomics*, 50(11), 1941-1949. <https://doi.org/10.1080/00140130701676096>
- Felton, E.A., Wilson, J.A., Radwin, R.G., Williams, J.C. & Garell, P.C. (2005). Electrocorticogram-controlled brain-computer interfaces in patients with temporary subdural electrode implants. *Neurosurgery*, 57(2), 425-435. <https://doi.org/10.1093/neurosurgery/57.2.425a>
- Fitts, P.M., Jones, R.E. & Milton, J.L. (1950). Eye movements of aircraft pilots during instrument-landing approaches. *Aeronautical Engineering Review*, 9(2), 24-29. Recuperado em: <https://psycnet.apa.org/record/1950-05519-001>
- Fritsch, G. & Hitzig, E. (1870). Ueber die elektrische Erregbarkeit des Grosshirns In: G. von Bonin (Ed), *In The Cerebral Cortex* (p. 73-96). Springfield, IL: Thomas
- Gazzaniga, M.S. (2000). *The cognitive neurosciences*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Gramann K, Fairclough SH, Zander TO and Ayaz H (2017) Editorial: Trends in Neuroergonomics. *Front. Hum. Neurosci.* 11(165), s-p. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00165>
- Hancock, P.A. & Chignell, M.H. (1987). Adaptive control in human machine systems. In: Hancock, P.A. (Ed.). *Human factors psychology* (p. 305-345). North Holland: Elsevier Science.
- Hancock, P.A. & Szalma, J.L. (2003). The future of neuroergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 238-249. <https://doi.org/10.1080/1463922021000020927>
- International Ergonomics Association (2000). *What is Ergonomics?* Recuperado em: http://www.iea.cc/01_what/What%20is%20Ergonomics.html
- Kearney, J.K., Rizzo, M., & Severson, J. (2007). Virtual Reality and



- Neuroergonomics. In: Parasuraman, R. e Rizzo, M. (Eds.). *Neuroergonomics: The brain at work* (p. 253-274). New York: Oxford University Press.
- Kramer, A.F. & Weber, T. (2000). Applications of psychophysiology to human factors. In: Cacioppo, J.T; Tassinari, L.G.; Berntson, G.G. (Eds.). *Handbook of psychophysiology* (p. 794-814). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Kubler, A. et al. (2001). Brain-computer communication: unlocking the locked in. *Psychological Bulletin*, 127(3), 358-375. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.127.3.358>
- Loeb, G.E. (1990). Cochlear prosthetics. *Annu. Rev. Neurosci.*, 13(1), 357-371. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.13.030190.002041>
- Mehta, R. K., & Parasuraman, R. (2013). Neuroergonomics: a review of applications to physical and cognitive work. *Frontiers in human neuroscience*, 7(889), s-p. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00889>
- Melo, W. V. D. C. (2007). *Avaliação ergonômica do membro superior esquerdo de operadores de trem metropolitano: uma investigação de sobrecargas no sistema osteomuscular*. Tese de Doutorado em Educação Física. Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. Recuperado em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/39/39132/tde-03072008-094322/en.php>
- Nicolas-Alonso, L. F., & Gomez-Gil, J. (2012). Brain computer interfaces, a review. *Sensors*, 12(2), 1211-1279. <https://doi.org/10.3390/s120201211>
- Nicolelis, M. (2003). A. Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits. *Nature Reviews Neuroscience*, 4(5), 417-422. <https://doi.org/10.1038/nrn1105>
- Oliveira, A. M. B. D. (2009). *Avaliação da fadiga em operadores de salas de controles de subestações elétricas*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Produção. Universidade Federal da Paraíba. Paraíba, Brasil. Recuperado em: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/5278>
- Parasuraman, R. & Mouloua, M. (1996). *Automation and Human Performance: Theory and Applications*. Mahwah, NJ: Erlbaum Press.
- Parasuraman, R. & Riley, V.A. (1997). Humans and automation: use, misuse, disuse, abuse. *Human Factors*, 39(2), 230-253. <https://doi.org/10.1518/001872097778543886>
- Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: Research and practice. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1), 5-20. <https://doi.org/10.1080/14639220210199753>
- Parasuraman, R., & Rizzo, M. (2007). Introduction to neuroergonomics. In: Parasuraman, R. e Rizzo, M. (Eds.). *Neuroergonomics: The brain at work* (p. 2-12). New York: Oxford University Press.
- Peres, M., Moortele, P.F.; Pierard, C. (2000). Functional magnetic resonance imaging of mental strategy in a simulated aviation performance task. *Aviation, Space and Environmental Medicine*, 71(12), 1218-1231. Recuperado em: <https://europepmc.org/article/med/11439722>
- Peysakhovich, V., Lefrançois, O., Dehais, F., & Causse, M. (2018). The neuroergonomics of aircraft cockpits: the four stages of eye-tracking integration to enhance flight safety. *Safety*, 4(1), 8. <https://doi.org/10.3390/safety4010008>



Pfurtuscheller, G. e Neuper, C. (2001). Motor imagery and direct brain-computer communication. *Proceedings of the IEEE*, 89(7), 1123-1134. <https://doi.org/10.1109/5.939829>

Posner, M.I. (2003). Imaging a science of mind. *Trends Cogn. Sci.*, 7(10), 450-453. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.08.013>

Rouse, W.B. (1988). Adaptive aiding for human/computer control. *Human Factors*, 30(4), 431-438. <https://doi.org/10.1177/001872088803000405>

Santos, L. M. D. (2004). *Avaliação de carga de trabalho em operadores de caixa de supermercado: um estudo de caso*. Dissertação de mestrado em Engenharia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, Brasil. Recuperado em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/5125/000421274.pdf?...1>

Sarter, N. & Sarter, M. (2003). Neuroergonomics: opportunities and challenges of merging cognitive neuroscience with cognitive ergonomics. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, 4(1-2), 142-150. <https://doi.org/10.1080/1463922021000020882>

Squire, L., Berg, D., Bloom, F. E., Du Lac, S., Ghosh, A., & Spitzer, N. C. (Eds.). (2012). *Fundamental neuroscience*. Massachusetts: Academic Press

White, R.F., James, K.E., Vasterling, J.J., Letz, R., Marans, K., Delaney, R., Kregel, M., Rose, F., & Kraemer, H.C. (2003). Neuropsychological screening for cognitive impairment using computer-assisted tasks. *Assessment*, 10(1), 86-101. <https://doi.org/10.1177/1073191102250185>

Wickens, C.D. (1990). Applications of event-related potential research to problems in human factors. In: Rohrbaugh, J.W., Parasuraman, R., & Johnson, R. (Eds). *Event-related Brain Potentials: Basic and Applied Issues* (p. 301-309). New York: Oxford University Press.

Wickens, C.D., Gordon, S.E. & Liu, Y. (1998). *An Introduction to Human Factors Engineering*. New York: Addison-Wesley Press.

Wickens, C.D., Xu, X., Helleberg, J.R., Carbonari, R. & Marsh, R. (2000). *The allocation of visual attention for aircraft traffic monitoring and avoidance: Baseline measures and implications for freeflight*. Savoy, IL: Aviation Research Lab.

Wiener, E.L. & Curry, R.E. (1980). Flight-deck automation: promises and problems. *Ergonomics*, 23(10), 995. <https://doi.org/10.1080/00140138008924809>

Wilson, J.R. (2000). Fundamentals of Ergonomics in theory and practice. *Applied Ergonomics*, 31(6), 557-567. [https://doi.org/10.1016/S0003-6870\(00\)00034-X](https://doi.org/10.1016/S0003-6870(00)00034-X)

Recebido em: 10/11/2021

Aceito em: 28/12/2021

Nome: Emmy Uehara Pires

Email: emmy.uehara@gmail.com

Endereço para correspondência: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Educação / Departamento de Psicologia. BR-465, Km 7 Seropédica-Rio de Janeiro. CEP: 23.897-000



Esta obra está licenciada sob uma [Licença Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)