

EFEITOS DA ESTIMULAÇÃO ELÉTRICA TRANSCRANIANA NA PERFORMANCE DE TAREFAS EXECUTIVAS

Lucinéia Pesente¹; Mirian Akiko Furutani Oliveira²; Glauca Rosana Guerra Benute³;
Mara Cristina Souza de Lucia⁴

RESUMO

Diversas técnicas medicinais têm se destinado a alterar padrões neuronais relacionados a quadros patológicos. Além do emprego terapêutico dessas técnicas, o aprimoramento cognitivo tem ganhado espaço no campo de pesquisa. Tais técnicas baseiam-se na neuromodulação da atividade cerebral e, dentre elas, a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC). Este trabalho tem por objetivo analisar os efeitos neuromodulatórios de ETCC sobre as funções executivas em adultos saudáveis. Foi realizada revisão de literatura e as bases de dados pesquisadas foram: PubMed, MEDLINE (via PubMed), BVS e Science Direct publicados nos últimos anos. Para a busca foram utilizadas as palavras-chave electrical stimulation and executive functions. Os resultados obtidos nos experimentos de ETCC em pacientes saudáveis foram favoráveis à melhora cognitiva das funções executivas. Os participantes que receberam ETCC obtiveram desempenho significativamente maior nos testes utilizados em comparação ao grupo controle.

Palavras-chave: Estimulação Elétrica, Funções Executivas, Neuromodulação

EFFECTS OF TRANSCRANIAL ELECTRICAL STIMULATION IN THE PERFORMANCE OF
EXECUTIVE TASKS

ABSTRACT

Several therapeutic techniques have been designed to change neural patterns related to pathological states. In addition to the therapeutic use of these techniques, cognitive enhancement has gained ground in this field. Such techniques are based on the neural modulation of brain activity, including the one known as The Transcranial Direct Current Stimulation (TDCS). This paper aims to analyze the neuromodulatory effects of TDCS on executive functions in healthy adults. The databases of PubMed, MEDLINE (via PubMed), BVS and Science Direct published over the last years. The key words used were electrical stimulation and executive functions. The results obtained in the experiments of TDCS in healthy patients were favorable to the cognitive improvements of the executive functions. The participants that received the TDCS obtained significantly higher performance in the tests used in comparison to the control group.

Keywords: Electrical stimulation, executive functions, Neuromodulation

¹ Mestre em Psicologia pelo Programa de Pós-Graduação em Psicologia da Universidade Federal do Espírito Santo, Especialista em Neuropsicologia pelo Centro de Estudos em Psicologia da Saúde (CEPSIC) e estagiária no Instituto Central do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (IHC-FMUSP).

² Neuropsicóloga Supervisora do IHC-FMUSP.

³ Diretora do Serviço de Pesquisas Clínicas e Epidemiológicas da Divisão de Psicologia do IHC-FMUSP.

⁴ Diretora da Divisão de Psicologia do IHC-FMUSP.

INTRODUÇÃO

Historicamente pode-se perceber um crescente e constante interesse em relação ao sistema nervoso central, quer seja no âmbito de suas estruturas, quer seja no entendimento de sua dinâmica funcional. Atualmente, o aprimoramento tecnológico tem permitido o desenvolvimento de diversas técnicas medicinais destinadas a alterar os padrões neuronais relacionados a quadros patológicos nos mais variados tipos de transtornos psiquiátricos e em quadros de lesão. Além do emprego terapêutico dessas técnicas, o aprimoramento cognitivo tem ganhado espaço no campo de pesquisa. Tais técnicas baseiam-se na neuromodulação da atividade cerebral, e dentre elas pode-se citar a Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua (ETCC).

A ETCC caracteriza-se por uma técnica não invasiva de alterações da excitabilidade cortical por meio da indução da alteração do potencial de repouso da membrana neuronal. O baixo custo e a simplicidade de manuseio fizeram com que a ETCC fosse utilizada em diversas frentes terapêuticas na última década (Brunoni, Pinheiro, & Boggio, 2012; Dresler et al., 2013; Feeser, Prehn, Kazzer, Mungee, & Bajbouj, 2013; Hoy et al., 2013; Parasuraman et al., 2012).

A utilização da eletricidade como recurso medicinal da estimulação elétrica no cérebro não é algo recente, uma vez que os primeiros relatos datam da antiguidade, e desde então vem sendo aprimorada e seu uso cada vez mais ampliado (Brunoni, Boggio, & Fregni, 2012).

Os resultados da ETCC estão relacionados à polaridade utilizada. Em uma sessão utilizam-se dois eletrodos, um ânodo e um cátodo. A estimulação anódica facilita a despolarização da membrana neural (facilitando o disparo neuronal) e a catódica funciona de maneira oposta hiperpolarizando a membrana neuronal. Estas

podem ser utilizadas com diferentes protocolos, para atingir uma região específica do córtex cerebral, modulando-a de acordo com a polaridade através de um fluxo de corrente contínua de baixa intensidade (Berryhill & Jones, 2012; Brunoni, Pinheiro, & Boggio, 2012; Fiquer et al., 2007; Gladwin, den Uyl, & Wiers, 2012; Hoy et al., 2013).

Diversas pesquisas têm relacionado a intervenção por ETCC à performance em tarefas executivas, este crescente interesse se deve provavelmente à importância das funções executivas para a adaptação sujeito-ambiente.

Função executiva se refere a um termo que abarca um conjunto complexo de processos que abrangem habilidades direcionadas a metas específicas, como o planejamento/organização para alcançá-las, e envolve também resolução de problemas, inibição de comportamentos inapropriados, tomada de decisão, raciocínio e abstração. Estas habilidades estão intimamente relacionadas à adaptabilidade dos indivíduos a situações novas (Lezak, 2004; Strauss, 2006).

Em detrimento de uma diversidade conceitual a respeito do tema, a maioria dos autores tendem a relacionar as funções executivas a tarefas de supervisão do funcionamento cerebral, envolvendo habilidades que se orientam ao comportamento intencional (Strauss et al., 2006).

As áreas cerebrais relacionadas a estas funções referem-se às regiões pré-frontais e suas conexões com áreas corticais e subcorticais. O córtex pré-frontal, por sua vez, é subdividido em 3 regiões, às quais se relacionam características específicas do funcionamento executivo. A primeira delas se refere ao córtex pré-frontal dorsolateral – CPFDL (áreas de Brodmann 9-12, 44-45 e porções superiores da área 47). Esta região relaciona-se às competências referidas a memória operacional, que é pensada como um sistema dinâmico, flexível, de capacidade limitada, que manipula informações, que integra o comportamento desejado, a

informação perceptual e a memória de longo prazo. Desta maneira, seleciona e amplifica representações necessárias ao objetivo, além de ignorar distrações potenciais (Andrade, Santos, & Bueno, 2004; Baddeley, 2003). Em linhas gerais, esse sistema seria capaz de armazenar, por um curto período de tempo, as informações necessárias para a execução de tarefas específicas (Miotto, 2007). Lesões nesta região implicam erros de perseveração, o que diz respeito à dificuldade tanto para inibir elementos ou ações não relevantes quanto para selecionar o elemento ou ação relevante, estas dificuldades podem impedir o paciente de sustentar um plano de ação (Andrade et al., 2004).

A segunda região do córtex pré-frontal se refere à órbito-frontal (zona ventromediana, porção inferior da área 47 e partes mediais das áreas 9-12), que se relaciona ao comportamento socialmente orientado. Lesões nesse circuito geram alterações de comportamento e personalidade, tais como déficits no controle inibitório, iniciativa e interesse. Além de irritabilidade e labilidade emocional (Andrade et al., 2004; Miotto, Lucia, & Scaff, 2012).

A terceira região do córtex pré-frontal é chamada de Cingulado anterior (AB 24, 25 e 32), é uma região primitiva e faz parte do sistema límbico, tem a função de monitorar a operação do CPF dorsolateral e auxiliar a modulação da resposta autonômica em situações de dor e de medo, além de contribuir em tarefas de atenção dividida, monitorar a atenção para detecção de erros de execução decorrentes de esquemas automáticos. O comprometimento desse circuito implica alteração da motivação, indiferença, ausência de autocrítica ou apatia (Andrade et al., 2004; Miotto et al., 2012).

As habilidades compreendidas no amplo e complexo processamento cognitivo relacionado às funções executivas expressam seu fundamental papel na interação e

ajustamento social de um sujeito. A disfunção relacionada a esse processamento, portanto, interfere de maneira significativa na forma do sujeito se relacionar e na eficiência de seu repertório comportamental. Tal impacto gera repercussões diversas na funcionalidade de um sujeito, e estas se estendem ao âmbito familiar, social e laboral, o que justifica o interesse crescente de pesquisadores a respeito da temática e de possíveis intervenções que melhorem o ajustamento de sujeitos com tais déficits e que aperfeiçoem habilidades em sujeitos saudáveis.

Há várias pesquisas que relacionam diversos transtornos ao déficit de funcionamento dos processos vinculados às funções executivas (Fuentes, Malloy, Camargo, & Consenza, 2008). Tais informações reforçam a importância desses processos para a eficiência do desempenho psicossocial e ajustamento emocional de um sujeito.

As pesquisas acerca dos efeitos das lesões sobre o comportamento e funções cognitivas e, mais recentemente, o desenvolvimento de diversas técnicas de neuroimagem permitiram um grande avanço na área de neuropsicologia. Apesar da grande contribuição, estes estudos e técnicas limitam-se a fornecer medidas correlacionais que vinculam desempenho em determinada tarefa a uma determinada região cerebral, deixando uma lacuna quanto a dados causais (Campanhã, Ishikawa, Giglio, Fiervi, & Boggio, 2012).

É provável que pesquisas sobre neuromodulação possam preencher essa lacuna, fornecendo dados causais que discutam o efeito da estimulação de estruturas corticais em funções cognitivas específicas. Tendo em vista esse contexto, faz-se de suma importância o desenvolvimento de trabalhos que forneçam e discutam dados sobre esta temática, aumentando em especial a produção de material em português, tendo em vista que produções nacionais ainda são escassas.

Além disto, espera-se que o desenvolvimento deste trabalho possa contribuir para fomentar a discussão sobre neuromodulação e funções executivas.

O objetivo do presente artigo é apresentar uma revisão sobre os efeitos neuromodulatórios de estimulação elétrica sobre as funções executivas em adultos saudáveis, contribuindo ainda no sentido de: apresentar uma revisão sistemática sobre o assunto abordado; apresentar as principais conclusões sobre os estudos produzidos acerca da técnica de ETCC com efeito nas funções executivas em pessoas saudáveis, além de identificar as baterias neuropsicológicas utilizadas.

MÉTODOS

Para alcançar os objetivos propostos, esta pesquisa foi dividida nas seguintes fases: identificação de artigos sobre efeitos neuromodulatórios de estimulação elétrica nas funções executivas de voluntários saudáveis; seleção dos trabalhos a serem utilizados na pesquisa com base nos critérios de inclusão e exclusão; análise dos trabalhos selecionados; identificação das baterias neuropsicológicas utilizadas nas avaliações iniciais e pós-intervenção com ETCC.

Os artigos revisados foram identificados através das bases de dados do PubMed, MEDLINE (via PubMed) e BVS publicados nos últimos anos. Para a busca dos artigos foram utilizadas as palavras-chave *electrical stimulation and executive function*. Tendo como base os critérios de inclusão e exclusão descritos abaixo, dos 52 artigos inicialmente identificados foram selecionados 4 artigos.

- **Critérios de inclusão:** estudos que relacionam neuromodulação por ETCC às funções executivas em adultos voluntários, publicados nos últimos anos.

- **Critérios de exclusão:** foram descartados os estudos que tratavam o tema da neuromodulação relacionada a quaisquer transtornos, e ainda relacionados à infância.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a compilação das principais informações referentes ao objetivo deste trabalho, no que diz respeito às pesquisas selecionadas sobre o efeito da Estimulação Elétrica sobre as funções executivas em adultos saudáveis.

Estimulação elétrica e Funções Executivas

Autores	Ano	Sujeitos	Objetivo	Protocolo estimulação	Local Estimulação	Funções Executivas	Protocolo Neuropsicológico	Resultados
Cerruti, C, & Schlaug, G	2009 ou 2010	18 indivíduos destros, média de idade 25,5 anos	Verificar se a ETCC melhora desempenho em tarefa verbal complexa	Exp 1: anódica, catódica e Sham em F3/ Exp 2: anódica em F3 ou F4 e Sham / 20 min, 1mA	Córtex pré-frontal dorsolateral esquerda (F3)	Memória de trabalho (resolução de problemas verbais)	de RAT: Remote Associates Test / VF: Verbal Fluency	Exp 1: ETCC anodal F3 ↑ desempenho x sham / Exp 2: em F3 reproduziu os resultado do Exp 1 e a ETCC anódica em F4 não teve efeito
Dockery, Hueckel-Weng, Birbaumer, & Plewnia,	2009	24 adultos destros com idade média de 24 anos	Investigar o efeito da ETCC anodal e catódica na função de planejamento em curto e longo prazo (6 meses e 1 ano)	ETCC Anodal e catódica de 1mA (grupo controle com sham) / 15min, 1mA	Córtex pré-frontal dorsolateral esquerda (F3)	Memória de Trabalho (Planejamento)	de TOL: Torre de Londres (Software de e-Prime versão 1.1)	↑ ambas ETCC catódica e anodal ↑ do desempenho no teste TOL
Gladwin, denUyl, & Wiers	2012	20 estudantes com idade média 21,1 anos	Investigar o efeito do ETCC no desempenho da memória de trabalho em tarefas de associação	ETCC Anodal de 1mA (grupo controle com sham) / 10 min, 1mA	Córtex pré-frontal dorsolateral esquerda (F3)	Memória de trabalho (evitamento de viés)	de IAT: Implicit Association Test	↑ TR no teste de congruência e nenhuma alteração no teste incongruência
Metuki, Sela & Lavidor	2012	21 estudantes destros, entre 18-29 anos	Investigar o efeito da ETCC sobre o controle cognitivo em processos de insight verbal e a relação desse desempenho com o aumento da dificuldade e traço de motivação	ETCC Anodal de 1mA (grupo controle com sham) / 11 min, 1mA	Córtex pré-frontal dorsolateral esquerda (F3)	Memória de Trabalho (Controle Cognitivo e Insight verbal)	de VIT: Verbal Insight Task / Behavioral Approach Scale / Behavioral Inhibition Scale	↑ do controle cognitivo e do insight verbal

A Memória Operacional como foco

Os resultados apresentados na tabela acima indicaram que todos os artigos selecionados incidem seus objetivos em analisar o efeito da ETCC em algum aspecto da Memória Operacional. Em um contexto geral, a memória operacional apresenta-se como importante foco de pesquisas na atualidade. Este fato se deve, provavelmente, pelo importante papel que desempenha no processo de adaptação sujeito meio e pelas limitações impostas aos que nesta função apresentam-se prejudicados.

A Memória Operacional se refere a um processamento de memória de curto prazo, um sistema de capacidade limitada em que informações são “armazenadas” na ordem de segundos, este sistema é responsável pela manutenção e manipulação de informações que possibilitem o funcionamento das funções cognitivas superiores. Desta maneira, permite a sustentação do pensamento e a interface entre percepção, memória de longo prazo e o comportamento (Baddeley, 2003).

A memória Operacional não funciona como um sistema unitário, mas divide-se em subsistemas, submetidos a um controlador atencional chamado executivo central. A ele submetem-se dois outros subsistemas específicos de processamento temporário, chamados de alça fonológica e esboço visuo-espacial, o primeiro manipula e codifica informações verbais enquanto o segundo manipula e codifica informações visuais e espaciais (Baddeley, 2003).

Ainda subordinado ao executivo central, Baddeley (2000) apresenta um terceiro subsistema: o registro episódico, que teria a função de integrar diferentes sistemas, fazendo conexão entre memória episódica e semântica, permitindo desta maneira a evocação de informações com significado.

A delimitação precisa acerca de aspectos específicos da memória operacional que estariam de fato sendo alterados em função da ETCC não são apresentadas de maneira tão clara nas pesquisas analisadas. Tendo em vista a complexidade que envolve o tema, hipóteses equivocadas acontecem com frequência, como na pesquisa de Gladwin et al. (2012). Neste trabalho a hipótese seria que a ETCC em região relacionada à memória de trabalho favoreceria o controle da função cognitiva em detrimento de associações automáticas, no entanto, os resultados não confirmaram essa hipótese. A ETCC anódica no CPFDL esquerdo afetou o desempenho (reação mais rápida), mas não melhorou a capacidade para superar associações automáticas. Tais resultados podem indicar que o CPDL esquerdo não parece estar envolvido no evitamento de associações automáticas.

Em apenas um dos quatro trabalhos selecionados houve a preocupação de um acompanhamento dos sujeitos participantes com o intuito de verificar se os ganhos decorrentes do processo de estimulação constituíam-se em ganhos provisórios ou prolongados. Dockery et al. (2009) repetiram a avaliação dos resultados por duas vezes, a primeira em seis meses e a segunda em um ano sob ETCC Sham. O *follow up* apresentou sustentação dos ganhos alcançados na estimulação.

Dentro da pequena amostra analisada, tendo em vista o foco desta pesquisa, fica em evidência a necessidade de pesquisas que tragam propostas de *follow up*, permitindo a análise dos resultados em longo prazo, afinal só assim será possível afirmar efeitos duradouros relacionados a estimulação por ETCC.

Aspectos da Memória Operacional abordados

Os aspectos da memória operacional pesquisados nos artigos selecionados foram: resolução de problemas verbais, planejamento, evitamento de associações automáticas e controle cognitivo / *insight* verbal. Cabe ressaltar que o termo controle cognitivo refere-se a uma série de mecanismos neurais, que englobam processos executivos relacionados à memória de trabalho, atenção seletiva, processamento de estímulos e monitoramento de performance. Estudos utilizando técnicas de neuroimagem demonstram que existe uma rede neural que é ativada de forma coordenada na execução de tarefas que necessitem das funções citadas, esta rede seria composta pelas regiões do córtex frontal, incluindo o dorsolateral, córtex frontal medial, córtex cingulado, lobo parietal, córtex motor e cerebelo. Dentre estas regiões, o córtex frontal seria o principal responsável pelo controle cognitivo, agindo de forma a manter uma análise em tempo real da informação provinda do ambiente e de estados internos do corpo (interocepção), modulando, desta forma, uma resposta de acordo com o contexto em que o indivíduo está inserido (Dresler et al., 2013; Enriquez-Geppert, Huster, & Herrmann, 2013; Metuki, Sela, & Lavidor, 2012; Niendam et al., 2012).

A pertinência do estudo das temáticas apontadas acima é alta, já que *déficits* em qualquer destas áreas tem uma implicação na adaptação do sujeito ao seu ambiente. Encontrar mecanismos que melhorem esse funcionamento de maneira eficiente pode consistir em grande avanço científico.

Protocolo de Estimulação Elétrica por Corrente Contínua

Em relação ao tipo de estimulação utilizada nas sessões de ETCC, prevaleceu o protocolo excitatório do tecido neural, chamado de estimulação anodal ou ETCC anódica. A intensidade utilizada foi a de 1 mA, variando entre 10 e 20

minutos. Em um dos estudos levantados, Dockery et al. (2009) fizeram o uso de estimulação anódica e catódica sobre o córtex frontal esquerdo dos grupos de seu experimento. Os resultados foram favoráveis a melhora das capacidades de planejamento dos participantes em ambos os protocolos de estimulação. Entretanto, há que se ter em conta que os resultados favoráveis a intervenção por ETCC no referido trabalho foram dependentes da disposição de sequenciamento da estimulação.

Local escolhido para estimulação

Todos os trabalhos apresentados utilizaram como região alvo para a ETCC anodal o córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo na posição F3 no sistema de EEG 10-20. Este fato é elementar, uma vez que esta região é fundamental para funções executivas, em especial a aspectos relacionados à memória de trabalho. A excitação cortical desta região através de técnicas neuromodulatórias como a ETCC e a estimulação magnética transcraniana – EMT – têm demonstrado eficácia no tratamento de diversos transtornos psiquiátricos (Andrews, Hoy, Enticott, Daskalakis, & Fitzgerald, 2011; Enriquez-Geppert et al., 2013; Gladwin et al., 2012; Metuki et al., 2012; Niendam et al., 2012).

Testes utilizados

Os testes utilizados variavam de acordo com a natureza da função executiva investigada. Desta maneira, os testes utilizados para avaliar aspectos verbais foram: *Remote Associates Test (RAT) / Verbal Fluency (VF)* e *Verbal Insight Task (VIT) / Behavioral Approach Scale / Behavioral Inhibition Scale*, enquanto que a pesquisa destinada a avaliar planejamento utilizou Torre de Londres – TOL - (Software de e-

Prime versão 1.1) e na avaliação de associações automáticas IAT: *Implicit Association Test*.

Cerruti & Schlaug (2009) utilizaram dois testes para avaliar os efeitos da ETCC sobre o desempenho de tarefa verbal complexa: o *Remote Associates Test* (RAT), que se refere a uma tarefa verbal complexa com associações tanto para pensamento criativo quanto para inteligência geral, envolvendo processos cognitivos de rápida recuperação e associação, e provavelmente grande participação do componente executivo; e o *Verbal Fluency* (VF), que se refere a um teste relativamente simples, em que os sujeitos devem recordar todas as palavras que conseguem com uma determinada letra.

Metuki et al., (2012), buscando analisar o efeito da ETCC sobre o controle cognitivo em processos de *insight* verbal e a relação desse desempenho com o aumento da dificuldade e traço de motivação, utilizaram o seguinte protocolo: *Verbal Insight Task* (VIT), neste teste três palavras principais eram demonstradas e por último uma quarta “palavra-chave”, então os participantes deveriam formar uma palavra-frase familiar utilizando as palavras principais em junção à palavra-chave. Por exemplo, as palavras principais poderiam ser: arranha, boca, azul; e a palavra-chave poderia ser “céu”, desta forma os resultados possíveis seriam arranha-céu, céu da boca e céu azul. Quarenta e oito palavras compunham a base de palavras possíveis de serem utilizadas no experimento, esta base foi dividida em duas sub-bases, 24 palavras de fácil *insight* verbal e 24 de difícil *insight* verbal. As escalas utilizadas por esses autores para mensurar aspectos motivacionais foram *Behavioral Approach Scale* e *Behavioral Inhibition Scale*. A escala de aproximação e inibição comportamental (BAS/BIS) é composta por duas escalas que mensuram a motivação de um indivíduo em busca de algo desejado e os comportamentos de

fuga/esquiva de um determinado contexto. Sendo composta por 24 itens de quatro pontos em que 1 significa: eu concordo fortemente com a afirmação e 4: eu discordo completamente da afirmação. A BIS possui sete itens com afirmações como “Eu me preocupo em cometer erros”. A BAS possui três subescalas que mensuram os componentes “Responsividade ao reforço (antecipação de eventos reforçadores)”, por exemplo, quando eu vejo uma oportunidade de fazer algo que gosto eu logo fico excitado. A segunda subescala é chamada BAS-DRIVE, ou seja, direcionamento ao reforço e BAS para procura de diversão (busca de novas situações possivelmente reforçadoras).

Dockery et al. (2009), buscando analisar os efeitos da ETCC na função de planejamento, utilizaram o teste Torre de Londres – TOL - (Software de e-Prime versão 1.1) que, segundo esses autores, seria um teste amplamente utilizado para essa finalidade. Os participantes resolveram 10 jogos (dois problemas em cinco níveis de dificuldade) de problemas TOL, sendo instruídos a imaginar os movimentos necessários para resolver a tarefa e para indicar o número total de movimentos pressionando um botão que corresponde ao número correto. A ordem de problemas TOL foi alternada e o arranjo de escolhas foi apresentado aleatoriamente no visor entre as sessões para evitar efeito aprendizagem.

Efeitos da ETCC nas funções executivas

Cerruti & Schlaug (2009), buscando verificar se a ETCC melhora o desempenho em tarefa verbal complexa, encontraram os seguintes resultados: no experimento 1 - a ETCC anodal em F3 aumentou o desempenho em comparação com o sham. No experimento 2, a estimulação anodal em F3 reproduziu os resultados do experimento 1 e a ETCC anódica em F4 não apresentou efeito algum.

Dockery et al. (2009), por sua vez, buscaram investigar o efeito da ETCC anodal e catódica na função de planejamento, em curto e longo prazo (6 meses e 1 ano). Os resultados indicaram que ocorreu aumento de desempenho em ambas estimulações, catódica e anodal. Como já dito, a ETCC anódica teve desempenho melhor quando aplicada nas sessões seguintes a ETCC catódica. Estes autores observaram uma dupla dissociação de polaridade e fase de treinamento. A ETCC catódica apresentou aumento do desempenho durante a aquisição e consolidação precoce, quando anterior a ETCC anódica, mas não na posterior. A ETCC anódica, por sua vez, resultou em maior precisão e melhor tempo de reação em sessões posteriores à ETCC catódica.

Tais resultados alertam sobre a importância, não apenas de pesquisas que identifiquem a eficiência da utilização de estimulação anódica ou catódica em determinada região, mas na elaboração de protocolos que considerem uma combinação sequencial de maior eficiência entre ambas as estimulações.

Gladwin et al. (2012) buscaram investigar o efeito do ETCC no desempenho da memória de trabalho em tarefas de associação. Os resultados indicaram uma melhora do desempenho no tempo de resposta (TR) no teste de congruência e nenhuma alteração no teste de incongruência. Tendo em vista estes resultados, os autores sugeriram que o córtex pré-frontal dorsolateral não parece estar envolvido em tarefas cognitivas que envolvem o evitamento de viés.

Metuki et al. (2012) analisaram o efeito da ETCC sobre o controle cognitivo em processos de *insight* verbal e a relação desse desempenho com o aumento da dificuldade e traço de motivação. Constataram que ocorreu um aumento do controle cognitivo e do *insight* verbal. A ETCC anódica no córtex pré-frontal dorsolateral melhorou o desempenho de reconhecimento de solução para problemas difíceis e

esse desempenho foi modulado pelo traço de motivação, pacientes mais motivados tiveram melhor desempenho. A ETCC anódica não melhorou o desempenho para a geração de solução, o que indica uma dissociação entre processos executivos “reconhecimento de soluções verbais” e “geração de soluções verbais”. Além disso, indica que o córtex pré-frontal dorsolateral está também envolvido no controle cognitivo complexo das funções executivas, atuando como possível modulador de componentes verbais relacionados a execução de tarefas.

Os resultados obtidos nos experimentos de ETCC em pacientes saudáveis foram favoráveis à melhora cognitiva das funções executivas citadas, em geral, os participantes que receberam ETCC obtiveram desempenho significativamente maior nos testes utilizados em comparação ao grupo controle (*sham*).

CONCLUSÃO

Tendo em vista o contexto do recorte deste trabalho, fizeram-se notórios os efeitos pró-cognitivos da utilização de ETCC nas funções executivas em pacientes saudáveis, quando em comparação com o grupo controle. Tais dados ressaltam a eficiência da técnica pesquisada e da importância da ampliação das análises correlacionais e causais no que tange ao tema.

O bom funcionamento das funções executivas é fator essencial para o ajustamento psicossocial de um indivíduo. Diversos transtornos têm sido relacionados ao mau funcionamento desse conjunto de processos, o que destaca a importância e necessidade do investimento e ampliação do escopo de pesquisas que visem: a melhor compreensão de seus mecanismos de funcionamento, o desenvolvimento e aperfeiçoamento de técnicas que aprimorem o funcionamento saudável, assim como habilidades prejudicadas.

Este trabalho se propôs a contribuir para a discussão e reflexão da temática da neuromodulação tendo como foco as funções executivas, deve-se ter em conta as limitações dos resultados apresentados, não no sentido de diminuir sua importância, mas no de equilibrar generalizações. Os dados discutidos tratam de um tipo específico de neuromodulação, a ETCC, com foco específico em um aspecto cognitivo, as funções executivas e ainda de um grupo específico, pessoas saudáveis.

Nas pesquisas analisadas neste trabalho apresentou-se como difícil tarefa a explicação de quais aspectos da memória operacional estariam sendo modulados pela ETCC, tendo em vista os efeitos apresentados. Tal fato apresenta-se como evidência da complexidade desse sistema e de como ainda são necessárias pesquisas que elucidem seu funcionamento e suas implicações no comportamento humano.

REFERÊNCIAS

Andrade, V. M., Santos, F. H., & Bueno, O.F.A. (2004). *Neuropsicologia Hoje*. São Paulo: Artes Médicas.

Andrews, S. C., Hoy, K. E., Enticott, P. G., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2011). Improving working memory: the effect of combining cognitive activity and anodal transcranial direct current stimulation to the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*, 4(2), 84–89. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1935861X10000628>

Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11), 417–423. Retrieved from <http://www.cell.com/article/S1364661300015382/fulltext>

Baddeley, A. (2003). Working memory: looking back and looking forward. *Nature Reviews. Neuroscience*, 4(10), 829–39. doi:10.1038/nrn1201

Berryhill, M. E., & Jones, K. T. (2012). tDCS selectively improves working memory in older adults with more education. *Neuroscience Letters*, 521(2), 148–51. doi:10.1016/j.neulet.2012.05.074

Brunoni, A. R., Boggio, P. S., & Fregni, F. (2012). Estimulação Elétrica no Sistema Nervoso Central: Uma Breve Revisão Histórica. In *Neuromodulação Terapêutica: Princípios e Avanços da Estimulação Cerebral não invasiva em Neurologia, Reabilitação, Psiquiatria e Neuropsicologia*. (1st ed., pp. 3–20). São Paulo: Sarvier.

Brunoni, A. R., Pinheiro, F. S., & Boggio, P. S. (2012). Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. In *Neuromodulação Terapêutica: Princípios e Avanços da Estimulação Cerebral não invasiva em Neurologia, Reabilitação, Psiquiatria e Neuropsicologia*. (1st ed., pp. 65–75). São Paulo: Sarvier.

Campanhã, C., Ishikawa, N. B., Giglio, A. C. A., Fiervi, K. T. C. de, & Boggio, P. S. (2012). Neuromodulação na neuropsicologia - Estudos sobre memória, linguagem e funções executivas. In *Neuromodulação Terapêutica: Princípios e Avanços da Estimulação Cerebral não invasiva em Neurologia, Reabilitação, Psiquiatria e Neuropsicologia*. (1st ed., pp. 440–455). São Paulo: Sarvier.

Cerruti, C., & Schlaug, G. (2009). Anodal transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex enhances complex verbal associative thought. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21(10), 1980–7. doi:10.1162/jocn.2008.21143

Dockery, C. A., Hueckel-Weng, R., Birbaumer, N., & Plewnia, C. (2009). Enhancement of planning ability by transcranial direct current stimulation. *The Journal of Neuroscience: The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 29(22), 7271–7. doi:10.1523/JNEUROSCI.0065-09.2009

Dresler, M., Sandberg, A., Ohla, K., Bublitz, C., Trenado, C., Mroczko-Wąsowicz, A., Repantis, D. (2013). Non-pharmacological cognitive enhancement. *Neuropharmacology*, 64, 529–43. doi:10.1016/j.neuropharm.2012.07.002

Enriquez-Geppert, S., Huster, R. J., & Herrmann, C. S. (2013). Boosting brain functions: Improving executive functions with behavioral training, neurostimulation, and neurofeedback. *International Journal of Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of Psychophysiology*, 88(1), 1–16. doi:10.1016/j.ijpsycho.2013.02.001

Feeser, M., Prehn, K., Kazzner, P., Mungee, A., & Bajbouj, M. (2013). Transcranial Direct Current Stimulation Enhances Cognitive Control During Emotion Regulation. *Brain Stimulation*. Retrieved from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1935861X13002787>

Fiquer, J. T., Boggio, P. S., Silva, M. T. A., Gorenstein, C., Fregni, F., Rigonatti, S. P., & Otta, E. (2007). Alterações afetivas em pacientes deprimidos submetidos à Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua. *Temas Em Psicologia*, 15(2), 149–159. Retrieved from http://pepsic.bvsalud.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-389X2007000200002&lng=pt&nrm=iso&tlng=pt

Fuentes, D., Malloy, L. F., Cmargo, C. H. P., & Consenza, R. M. (2008). A evolução das idéias sobre a relação entre cérebro, comportamento e cognição. In *Neuropsicologia: teoria e prática* (pp. 15–19). Porto Alegre: Artmed.

Gladwin, T. E., den Uyl, T. E., & Wiers, R. W. (2012). Anodal tDCS of dorsolateral prefrontal cortex during an Implicit Association Test. *Neuroscience Letters*, 517(2), 82–6. doi:10.1016/j.neulet.2012.04.025

Hoy, K. E., Emonson, M. R. L., Arnold, S. L., Thomson, R. H., Daskalakis, Z. J., & Fitzgerald, P. B. (2013). Testing the limits: Investigating the effect of tDCS dose on working memory enhancement in healthy controls. *Neuropsychologia*, 51(9), 1777–1784. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0028393213001723>

Lezak, M. D. (2004). *Neuropsychological assessment*. Oxford university press.

Metuki, N., Sela, T., & Lavidor, M. (2012). Enhancing cognitive control components of insight problems solving by anodal tDCS of the left dorsolateral prefrontal cortex. *Brain Stimulation*, 5(2), 110–5. doi:10.1016/j.brs.2012.03.002

Miotto, E. C. (2007). Reabilitação neuropsicológica da disfunção executiva. In M. Miotto, E.C.; Lucia, M.C.S.; Scaff (Ed.), *Neuropsicologia e as Interfaces com a Neurociência*. São Paulo: Casa do Psicólogo.

Miotto, E. C., Lucia, M. C. ., & Scaff, M. (2012). *Neuropsicologia Clínica*. São Paulo: Rocca.

Niendam, T. A., Laird, A. R., Ray, K. L., Dean, Y. M., Glahn, D. C., & Carter, C. S. (2012). Meta-analytic evidence for a superordinate cognitive control network subserving diverse executive functions. *Cognitive, Affective & Behavioral Neuroscience*, 12(2), 241–68. doi:10.3758/s13415-011-0083-5

Parasuraman, R., Christensen, J., Grafton, S., McKinley, R. A., Bridges, N., Walters, C. M., & Nelson, J. (2012). Modulating the brain at work using noninvasive transcranial stimulation. *NeuroImage*, 59(1), 129–137. Retrieved from <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1053811911008706>

Strauss, E. (2006). *A Compendium of Neuropsychological Tests: Administration, Norms, and Commentary* (3rd ed.). New York: Oxford University Press.

CONTATO

E-mail: neiapesente@gmail.com