

TENDÊNCIAS DO NEUROFEEDBACK EM PSICOLOGIA: REVISÃO SISTEMÁTICA

Álvaro Machado Dias*

RESUMO. *Neurofeedback* é uma modalidade não invasiva de condicionamento operante que visa produzir melhoras em quadros clínicos e aumento da *performance* ou sensação de bem-estar em pessoas normais, através da indução de alterações plásticas cerebrais. Os objetivos do estudo consistiram em gerar um panorama geral da literatura indexada no PubMed e Scopus e revisar a literatura em déficit de atenção e aumento da cognição, *performance* e sensação de bem-estar em sujeitos normais. Constatou-se que existem 156 artigos completos publicados em periódicos indexados no PubMed, 249 na Scopus e 310 ao todo. O uso para tratamento de déficit de atenção está bem-estabelecido na literatura, ao passo que o uso para condições não clínicas permanece em franco desenvolvimento..

Palavras-chave: *Neurofeedback*; neurociências; clínica psicológica.

TRENDS IN NEUROFEEDBACK IN PSYCHOLOGY: SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT. Neurofeedback is a non-invasive method of operant conditioning designed to produce improvements in clinical and performance enhancement or sense of well-being in normal people by inducing neuroplastic effects in the brain. **Objectives:** Overview the literature indexed in PubMed and Scopus, and review the studies on attention deficit disorder and cognitive enhancement, performance and sense of well-being in normal people. **Results:** there are 156 complete articles published in Journals indexed in PubMed, 249 in Scopus, and an overall number of 310 papers. The application of the technique to the treatment of attention deficit disorder is well established in the literature, while the use for non-clinic conditions is still under development..

Key words: Neurofeedback; neuroscience; psychological clinic.

TENDENCIAS DEL NEUROFEEDBACK EN PSICOLOGÍA: REVISIÓN SISTEMÁTICA

RESUMEN. Neurofeedback es una modalidad no invasiva de condicionamiento operante que tiene el objetivo de producir mejoras en cuadros clínicos y el aumento de la actuación o la sensación de bienestar en personas normales, por medio de la inducción de alteraciones plásticas cerebrales. **Objetivos:** Generar un panorama general de la literatura indexada en PubMed y Scopus y revisar la literatura en déficit de atención y en aumento de la cognición, actuación y sensación de bienestar en sujetos normales. **Resultados:** existen 156 artículos completos publicados en revistas indexadas en PubMed, 249 en Scopus y 310 en total. El uso para tratamiento de déficit de atención está bien establecido en la literatura, al paso que el uso para condiciones no clínicas permanece en franco desarrollo.

Palabras-clave: Neurofeedback; neurociencias, psicología clínica.

Neurofeedback é uma modalidade de condicionamento operante que visa ao reestabelecimento de padrões eletrofisiológicos adequados para o tratamento de determinadas desordens de caráter neurológico, psiquiátrico ou psicológico à amplificação de habilidades cognitivas normais e à potencialização da sensação de bem-estar. É um tipo de *biofeedback* que engloba o conjunto dos treinamentos de dimensões da fisiologia (i.e., variabilidade cardíaca, resposta galvânica da pele, eletromiografia) para a

promoção de mudanças específicas ou globais no modo de funcionamento do organismo (Brown, 1975).

Tal como outras modalidades de *biofeedback*, o *neurofeedback* representa uma tentativa de potencialização do desempenho de dimensões eletrofisiológicas de interesse, através do controle intencional de estímulos a elas pareados (e.g., um filme, um jogo de videogame ou uma música que dimensionam a proporção com que determinada faixa frequencial aparece no espectrograma). O que

* Pesquisador pós-doc do Laboratório de Neuroimagem em Psiquiatria 'LIM-21', do Instituto de Psiquiatria da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo. Professor adjunto da Unifesp.

diferencia o neurofeedback do biofeedback é o fato de as variáveis de interesse serem cerebrais, o que eventualmente leva a resultados mais profundos e rápidos em se tratando de desordens ou condições de base cerebral.

Os protocolos são a essência do trabalho com a técnica, refletindo a transposição do conhecimento teórico e empírico acerca das melhores maneiras para suprir as demandas de um caso, para a forma de uma programação no ambiente do software escolhido para tanto (BioExplorer, BioEra, Neuro-Spectrum, etc.). Como veremos ao longo deste estudo, alguns poucos protocolos possuem vasta utilização, ao passo que diversos outros são utilizados como adaptações à complexidade de determinados casos clínicos e/ou com finalidade experimental.

Geralmente o neurofeedback é baseado no uso de um osciloscópio e consequente treinamento da alteração em padrões eletroencefalográficos extraídos dos sítios onde os eletrodos ativos são colocados (lembrando que toda montagem abrange eletrodos negativos e referências). Como a maioria das pessoas tem dificuldades em controlar simultaneamente o funcionamento de diversas áreas do cérebro, os protocolos costumam exigir montagens monopolares (um eletrodo ativo, uma referência e um terra) ou bipolares (dois ativos, duas referências e um terra).

Esta metodologia é uma decorrência da constatação de que o cérebro possui diversos padrões frequenciais, definidos através da dinâmica dos potenciais de ação dos neurônios das porções cerebrais escolhidas (Berger, 1929) e implicados nas atividades cognitivas e nas experiências emocionais de curto e de longo prazo, tanto no espectro da normalidade como quando da presença de alguma desordem neurológica ou transtorno psiquiátrico (Evans, 2007). Escorando-se em estudos segundo os quais muitas destas condições se correlacionam a padrões desviantes no EEG, a técnica preconiza o treinamento do cérebro para a normalização dos padrões eletroencefalográficos, sob o mote de que o treinamento necessário para se atingir tal objetivo deve produzir uma facilitação de resultados análogos no longo prazo (retroalimentação positiva), visto que o sujeito terá aprendido a reconhecer padrões eletrofisiológicos deletérios em seu próprio cérebro, bem como a induzir as contratendências a estes padrões, praticadas durante as sessões clínicas.

Assim, o objetivo da técnica se desdobra em duas escalas: em termos mais imediatos, preconiza-

se que o cliente aprenda a retroalimentar o seu cérebro com padrões de eletroencefalográficos aprendidos por condicionamento operante desde a facilitação oferecida pelo pareamento com estímulos capazes de gerar engajamento pessoal; e em termos mediatos, preconiza-se que o cliente incorpore os novos padrões adquiridos e, quando da presença de desequilíbrios, que acesse sua capacidade de induzir alterações em sua própria fisiologia.

As sessões clínicas geralmente duram entre 50 e 60 minutos e são repetidas duas vezes por semana, e o número de sessões necessárias para a obtenção de resultados clínicos significativos varia de acordo com a condição tratada (os relatos apontam entre 25 e 80 sessões) (Angelakis, Stathopoulou, Frymiare, Green, Lubar & Kounios, 2007). As variáveis mais utilizadas para o treinamento são a amplitude e o total de ativação por faixas de onda. Os primeiros estudos no uso do EEG para o condicionamento operante de padrões de funcionamento do cérebro foram realizados por Joe Kamiya na década de 1960 (Kamiya, 1969). Ainda que os quarenta anos que transcorreram desde então tenham sido acompanhados de enormes avanços e que a convergência entre os profissionais na seleção dos protocolos para cada condição clínica esteja crescendo, é preciso ter em vista que a literatura sobre a eficácia da técnica em nível orgânico e comportamental, sua comparação com outros tratamentos assim como outros determinantes importantes, ainda permanecem em franco desenvolvimento.

Entre estes desenvolvimentos destaca-se, na atualidade, o uso da técnica para o aumento da capacidade cognitiva, do desempenho “de pico” (artístico, atlético e outros), da sensação de bem-estar de sujeitos normais; e, mantendo-se a tradição, o uso para contornar/mitigar a necessidade de medicação em quadros de dificuldades de aprendizado, especialmente déficit de atenção. Estas duas categorias de aplicação “cognitivas” (não clínica/clínica) representam campos especialmente interessantes ao *neurofeedback*, dadas a abrangência de ambas as demandas e a restrita disponibilidade de recursos não farmacológicos comprovadamente eficazes para dar conta de tais demandas.

OBJETIVOS

Este estudo visa: 1) fornecer uma visão geral e sistemática da literatura utilizando técnicas de

mineração de dados (*data/text mining*); 2) introduzir e sistematizar as principais conclusões dos estudos produzidos acerca da potencial eficácia do neurofeedback enquanto instrumento acessório ou principal: a) no tratamento do déficit de atenção; b) no aumento da capacidade cognitiva, “*performance* de pico” (artística, cognitiva, etc.) e sensação de bem-estar (diminuição do estresse, melhora do sono), em sujeitos normais.

MÉTODOS

Para atingir o primeiro objetivo, inicialmente baixamos todos os artigos indexados no PubMed e os dividimos manualmente por ano, tema e tipo, e a partir disso realizamos as análises elementares: 1) curva geral de crescimento do campo; 2) principais desordens/condições tratadas/treinadas com *neurofeedback* e sua relativa importância em relação à totalidade da literatura. Subsequentemente, utilizamos a ferramenta de *data/text mining* Omniviz para fazer um levantamento dos principais conceitos utilizados no campo, a partir da compilação desses conceitos e de um mapa topológico em 3D com os conceitos agrupados de acordo com a sua coocorrência na literatura.

Este mapa possui como base um tesouro, onde estão elencados, em ordem de importância/número de aparições, todos os conceitos utilizados em resumos, títulos e palavras-chave, sendo que os conceitos mais recorrentes abrem tesouros secundários e terciários. O *software* calcula o número de permutações necessárias para ir de um conceito principal a outros e para conceitos secundários e terciários, formando *clusters* (em grande medida determinados pela estatística não paramétrica Kendall tau). Uma vez determinados os *clusters*, parte-se para a plotagem do mapa, o qual possui como variável do eixo das ordenadas a importância do conceito em questão no tesouro e, por extensão, no âmbito das publicações utilizadas de base; e como variável determinante do eixo das abscissas, a distância (normalizada para o tamanho da representação gráfica) entre os conceitos e, por extensão, entre as temáticas representadas.

Cabe frisar que o programa permite customização da programação do tesouro, o qual foi rigorosamente analisado e reconstruído para a eliminação de conceitos não pertinentes ao tema e fusão de sinônimos, vicissitudes que o programa não tem a capacidade de detectar. Mormente, é preciso atentar para o fato de que o mapa não prevê

uma interpretação, mas sim, material para que isto seja feito. Também é importante notar que ele não deve ser concebido como uma maneira de se traduzir visualmente o que está sendo estudado (o que é quase forçoso, desde a associação de conceitos nos *clusters*), mas sim, como representação do que veio sendo estudado desde que o campo surgiu. Enfim, deve ser concebida como uma representação visual da história do campo.

Em um segundo momento, definimos os pontos mais importantes em relação a cada um dos tópicos clínicos delineados e apresentamos tabelas com os dez estudos de melhor qualidade e/ou resultados mais importantes para o campo, referentes àquele tópico. Nosso intuito original era apenas incluir estudos indexados no PubMed, controlados, com um número de participantes considerável e avaliações de desempenho a partir de instrumentos bem-fundamentados; não obstante, é preciso levar em conta que isto nem sempre é possível, dadas as limitações da literatura. Assim, seguimos os seguintes princípios para a formação da tabela: 1. Priorizar estudos indexados no PubMed; 2. Priorizar estudos controlados (incluindo as meta-análises); 3. Priorizar estudos que apresentem resultados novos e/ou que apontem tendências positivas ou negativas; 4. Priorizar estudos com grupos ativos grandes. Nesta fase determinamos o tipo de protocolo utilizado (montagem do EEG) e a eficácia reportada, para que o material sirva de consulta a quem queira se aventurar a desbravar este campo.

Acrescentamos que o fato de priorizarmos os artigos indexados no PubMed ao longo de toda esta pesquisa não reflete nenhuma predileção pela base de dados (como veremos, as duas revistas que mais publicam sobre o assunto não estão na base), mas simplesmente o fato de que essa base permite livre acesso, ao contrário da Scopus.

RESULTADOS

Visão geral do campo

Crescimento do campo

Atualmente (11/2009) existem 156 artigos completos publicados em periódicos indexados no PubMed sob as palavras-chave [“*Neurofeedback*” or *Brain Wave Biofeedback*”], dos quais 119 trazem resultados experimentais. Das 37 revisões, duas são meta-análises, sendo uma sobre déficit de atenção (Arns, de Ridder, Strehl, Breteler & Coenen, 2009).

Na base Scopus existem 249 artigos completos publicados em periódicos, sendo 184 artigos experimentais. Somando os artigos indexados no PubMed com os indexados no Scopus encontramos 310 artigos indexados e vários resumos/artigos de congressos e capítulos de livros (ver material suplementar). A revista que mais traz artigos no tema é a *Journal of Neurotherapy*, com 59 artigos, vindo em seguida a *Applied Psychophysiology Biofeedback*, com 24 artigos. Nenhuma das duas está no PubMed.

Embora os princípios elementares acerca da possibilidade de se utilizar neurofeedback sejam da década de 1960, a primeira publicação indexada é de 1994, ao passo que o campo se manteve incipiente até 2001; 0.85 das publicações foram indexadas entre 2001 e 11/2009, sendo que 0,66 das publicações foram indexadas entre 2005 e 11/2009, o que dá uma medida do caráter recente do campo, por trás de sua roupagem aparentemente tradicional, desde os artigos do PubMed (Figura 1).

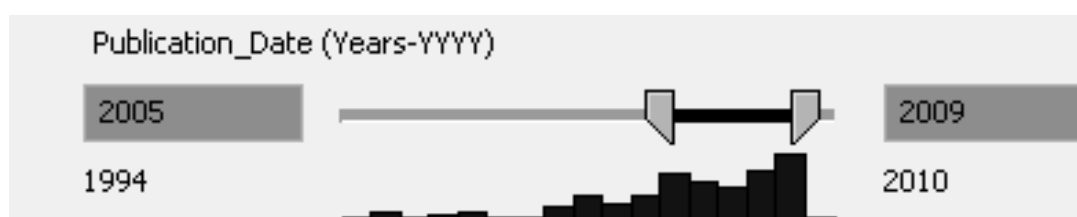


Figura 1: Curva de Crescimento do Campo. Cada Barra Representa o Número de Publicações em um Ano (% do total; 1994-2010). O Período Assinalado Representa o Número de Publicações Entre 1/2005 e 11/2009.

Artigos experimentais nos principais tópicos

Considerando apenas os artigos completos e os que contenham só dados inéditos, escritos em inglês, francês, espanhol ou português e que contenham

metadados completos e indexados no PubMed sob as palavras-chave determinadas acima, encontramos a seguinte distribuição temática:

Tabela 1: Artigos Experimentais em Neurofeedback, Indexados no PubMed.

Temas	Nº de artigos experimentais contendo apenas dados inéditos
Déficit de Atenção e outras desordens de aprendizado diretamente relacionadas ao mesmo	29
Aumento da Capacidade Cognitiva em Sujeitos Normais	15
Desordens afetivas, acompanhadas ou não por uso de drogas de abuso; controle do estresse e/ou fadiga excessiva	24
Zumbido e distúrbios vestibulares	10
Epilepsia; convulsões	8
Autismo e doença de Asperger	5
Outros	28

Mapa topológico do campo

Considerando a associação entre os conceitos mais recorrentes ao longo da história do campo (1994-11/2009), à luz da programação descrita na seção anterior, apresentamos a seguinte representação dos *clusters* conceituais que melhor caracterizam o foco almejado ao longo das pesquisas mais recorrentes, a partir do PubMed.

Tal como este mapa sugere, há uma linha de estudos sobre epilepsia que envolve o

desenvolvimento de protocolos para a redução de determinados padrões de ativação **cerebral, que incidem** diretamente sobre o comportamento dos neurônios. Conforme revelou nossa revisão da literatura do tema, o principal protocolo utilizado para o tratamento da epilepsia e Figura 2: Mapa Topológico do Campo. Eixo das Abscissas Determina Distância Relativa; Eixo das Ordenadas Determina Concentração Conceitual/Temática.

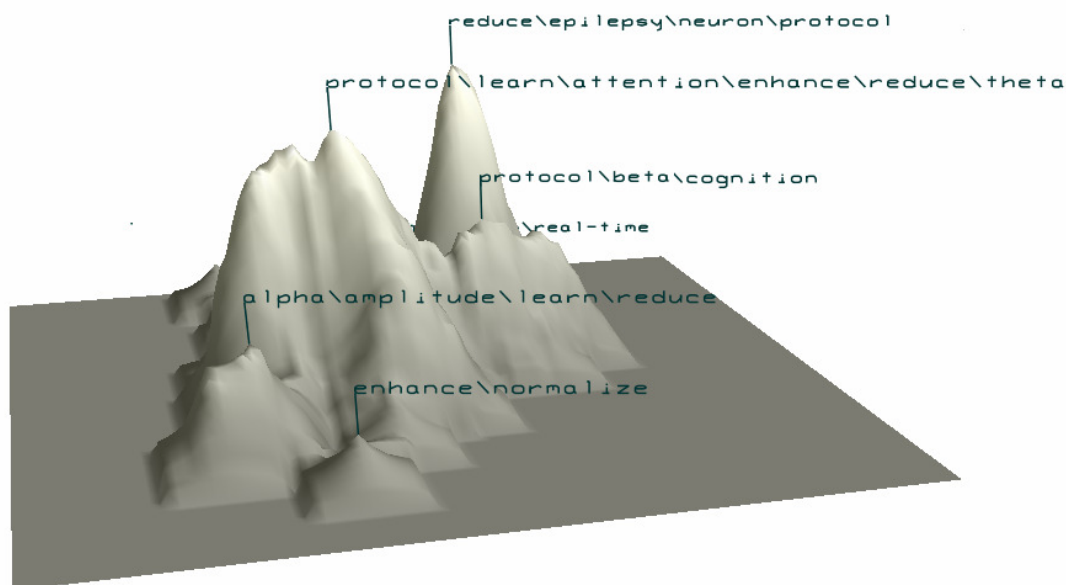


Figura 2: Mapa Topológico do Campo. Eixo das Abscissas Determina Distância Relativa; Eixo das Ordenadas Determina Concentração Conceitual/Temática.

Tal como este mapa sugere, há uma linha de estudos em epilepsia que envolve o desenvolvimento de protocolos para a redução de determinados padrões de ativação cerebral, que incide diretamente sobre o comportamento dos neurônios. Conforme revelado pela nossa revisão da literatura no tema, o principal protocolo utilizado para o tratamento da epilepsia e quadros convulsivos é dado pelo aumento da amplitude na faixa frequencial do ritmo sensório-motor (Alfa, próximo a 14 Hz) e diminuição da ativação em faixas de alta ativação; para uma meta-análise, ver: Tan et al. (2009).

Há uma linha de estudos estendendo-se horizontalmente por uma zona de alta elevação e grande volume, que parece bastante clara: aumenta a capacidade de aprendizado e a atenção em portadores de déficit de atenção, utilizando-se protocolos que diminuem Teta (4-8 Hz) e aumentam Beta (Leins, Goth, Hinterberger, Klinger, Rumpf, & Strehl, 2007). Outra linha de estudos, cuja representação no mapa faz-se menos volumosa, associa (aumento de) Beta (12-20 Hz) com (aumento da) cognição. O caráter mais modesto desta, em associação com a ausência do conceito de “atenção”, sugere que estes estudos tratam do aumento da cognição em pessoas sem desordens cognitivas (Egner & Gruzelier, 2004). Como veremos na subseção dedicada ao tema, o aumento da capacidade cognitiva em pessoas normais possui nuances que transcendem estas generalidades, envolvendo habilidades artísticas, esportivas e outras.

Também se destaca uma linha de estudos relativa à diminuição da amplitude de Alfa (8-12 Hz) que a

literatura revela estar relacionada ao tratamento de desordens afetivas, sobretudo da depressão (Baehr, Rosenfeld & Baehr, 2001).

Aplicações clínicas do Neurofeedback

Déficit de atenção

O transtorno de déficit de atenção (TDA) é um distúrbio caracterizado pela diminuição no potencial cognitivo de tipo executivo (atenção; memória de curto prazo e de trabalho; inibição de respostas percebidas como inapropriadas) (Beauregard & Levesque, 2006), que frequentemente é acompanhado por hiperatividade (TDA/H). Acredita-se que acometa entre 3 e 5% dos jovens em fase escolar (Fuchs, Birbaumer, Lutzenberger, Gruzelier, & Kaiser, 2003), embora a determinação da prevalência seja um tema bastante controverso, visto que o limiar entre condições patológicas e não patológicas é incerto e as causas do insucesso acadêmico (principal contexto de expressão do problema) são múltiplas, tanto em nível social quanto psicológico, além de o TDA/H ocorrer frequentemente em comorbidade com outras desordens, limitando uma definição sobre o derradeiro *leitmotiv* das dificuldades que frequentemente levam ao diagnóstico.

O uso do *neurofeedback* como coadjuvante ou terapia primária surgiu da percepção de que drogas estimulantes - como a ritalina (metilfenidato) - que aumentam a amplitude relativa do EEG pré-frontal diminuem os sintomas da desordem (Friel, 2007). Estes achados foram acompanhados de medidas

diretas dos padrões eletroencefalográficos dos portadores da desordem, caracterizados por aumento da proporção de ondas de baixa ativação em relação às ondas de alta ativação no córtex pré-frontal (Monastra, 2008). Neste sentido, o *neurofeedback* segue a máxima de que o portador do transtorno se torna pouco focado quando a baixa ativação pré-frontal lhe impede a sustentação da atenção e que o tratamento deve se pautar pela alteração deste padrão através de um treinamento para o aumento do padrão frequencial no córtex pré-frontal.

Apesar do enfoque sobre a atividade pré-frontal, os treinamentos são geralmente feitos com os eletrodos colocados sobre a área de transição multimodal frontal-parietal-temporal esquerda (C3), direita (C4) e central (C0), ao invés de colocados sobre os respectivos sítios do córtex pré-frontal (F3, F4 e F0) (Arns et al., 2009). Isto se explica pelo fato de que o treinamento com os eletrodos situados em C gera efeitos mais dispersos sobre as redes altamente conectadas ao córtex pré-frontal, disseminando o efeito do treinamento.

Há dois protocolos básicos para o tratamento do déficit de atenção, os quais frequentemente se combinam em uma mesma programação: o treinamento reforçamento positivo de padrões pré-frontais em Beta 1 (15-20 Hz) e a inibição da atividade na banda Teta (4-7 Hz). Estes protocolos podem também incluir o reforço da faixa SMR (12-15 Hz), em séries clínicas multimodais. A máxima do tratamento com estes protocolos é a de que os dois primeiros poderiam contribuir para o aumento da atenção e a inibição de respostas cognitivas

impróprias, enquanto o último poderia diminuir a impulsividade, sendo, assim, mais indicado para casos em que o transtorno acompanha hiperatividade (Beauregard & Levesque, 2006).

Mais recentemente surgiram os protocolos focados no potencial cortical lento (SCP), o qual é um tipo de alteração de voltagem no EEG que é causado por um evento (potencial evocado por evento) e dura de frações de segundos a vários segundos, podendo ser controlado voluntariamente por pessoas normais (Strehl et al., 2006). No caso do treinamento com SCP para TDA, a premissa é a da inibição dos potenciais de baixa frequência e/ou reforçamento dos potenciais de alta ativação para estimular a atividade neural no córtex pré-frontal. Apesar das diferenças superficiais entre estes protocolos, uma análise comparativa revelou que possuem eficácia semelhante (Arns et al., 2009; Leins et al., 2007).

A abundância de estudos em *neurofeedback* para TDA/H se reflete na relativa abundância de estudos controlados e de qualidade aceitável ou boa. A tabela abaixo apresenta resultados compilados a partir de estudos escolhidos por sua qualidade e relevância (no Scopus e PubMed), dando uma medida do tipo de protocolo utilizado e da eficácia da técnica, tanto em termos comportamentais quanto no tocante a alterações no EEG. Nesta etapa optamos por não incluir mais estudos, dada a existência de uma meta-análise recente (N = 1194), a qual provê substrato bastante para avaliações de eficácia em testes de atenção, sobretudo TOVA (*test of variables of attention*), teste Go-NoGo e a escala de atenção FBB-HKS (*German ADHD rating scale*) (Arns et al., 2009).

Tabela 2: Estudos em *Neurofeedback* para TDA escolhidos por sua qualidade e importância.

Autores e Data	N. Condição Ativa	Protocolo	Principal Conclusão
(Arns, et al., 2009)	Meta-análise, N = 1194; 269 em estudos controlados	SCPs, Teta/Beta, Aumento de Beta1	<i>effect size</i> = 0.8097
(Doehnert, et al., 2008)	14	SCPs	Participantes ↓ a relação Teta/Beta 2.528, P = 0.035
(Drechsler, et al., 2007)	17	SCPs	Alterações de nível variado em testes neuropsicológicos
(Fuchs, et al., 2003)	22	SMR e Beta 1	Neurofeedback é tão eficiente quanto Ritalina
(Gevensleben, et al., 2009)	46	SCPs Teta/Beta,	↓de Teta; melhora em teste de atenção: <i>effect size</i> = 0.60
(Levesque, Beauregard, & Mensour, 2006)	15	Teta/SMR	RMf mostrou ↑da ativação no córtex cingulado
(Rossiter, 2004)	33	Teta/Beta	Neurofeedback é tão eficiente quanto drogas psicoestimulantes
(Strehl, et al., 2006)	23	SCPs	Avaliações externas (professores) ↑ e aumento de desempenho em testes de caráter moderado
(L. Thompson & Thompson, 1998)	111	Teta/Beta	Ganhos de QI de 12 pontos
(Beauregard & Levesque, 2006)	15	Teta/Beta	↑Desempenho no Stroop correlaciona-se com alterações plásticas parietais

Entre os estudos compilados de acordo com os determinantes anteriormente descritos, não foram encontrados relatos de que a técnica seria ineficaz, sendo os ganhos em desempenho divididos em: medidas de desempenho executivo/testes de inteligência e alterações plásticas no cérebro (medidas por ressonância magnética funcional –RMf– e QEEG).

Aumento da capacidade cognitiva, sensação de bem-estar e performance em sujeitos normais

O uso de *neurofeedback* para aumentar funções normais se divide em duas partes: 1) aplicação para aumento da capacidade cognitiva em adultos ou idosos, sem histórico psiquiátrico ou neurológico; 2) aumento de capacidades artísticas e/ou da criatividade.

Há também relatos de aplicação para o aumento do desempenho esportivo em esportes de precisão, mas nós não iremos considerar estes estudos aqui, já que eles não passaram em nossos critérios de inclusão (geralmente por não serem artigos completos, mas resumos de congressos e capítulos de livros).

Em relação às pesquisas do primeiro tipo, destaca-se o único trabalho voltado ao aumento da capacidade cognitiva em idosos (Angelakis et al., 2007), o qual se pauta por uma proposta original de aumento do pico da frequência de Alfa, com vista ao aumento do potencial cognitivo geral. Para que se entenda o fundamento da proposta, é preciso ter em vista que cada faixa de frequência possui uma subfaixa onde a maior parte das ondas está alocada; por exemplo, em adultos a subfaixa de 10-11 Hz concentra a maior parte da ativação de Alfa (8-12 Hz). Conforme envelhecemos este pico diminui (Angelakis et al.,

2004) e com ele decai o padrão de ativação eletrofisiológico relativo à realização das tarefas que comumente recrutam tal banda frequencial. Sob este princípio, o experimento em questão baseou-se na recompensa do reestabelecimento do pico de Alfa saudável, sem treinar outras frequências tradicionalmente relacionadas à cognição (Teta/Beta1).

Os estudos que enfocam o aumento da capacidade artística e da criatividade através do uso do *neurofeedback* se originaram dos relatos de que os momentos limiares entre o sono e a vigília (hipnagogia) são caracterizados por criatividade aumentada e sensação de liberdade de pensamento (Vaitl, Birbaumer, Gruzelier, Jamieson, Kotchoubey, Kubler et al., 2005). Os protocolos são geralmente voltados para o aumento de Teta de olhos fechados. Esta conjuntura para o aumento de Teta (olhos fechados) faz-se particularmente significativa quando o TDA/H é caracterizado por aumento de Teta de olhos abertos, o que não é a mesma coisa.

Já em relação ao aumento da sensação de bem-estar em sujeitos normais, a literatura apresenta duas linhas principais de aplicação: uso do *neurofeedback* como ferramenta para diminuir o estresse pela indução do relaxamento desde a diminuição do padrão de ativação cerebral em diversas áreas do cérebro e uso para melhorar a qualidade do sono, sob os mesmos princípios.

Segue abaixo a tabela com os dados de estudos escolhidos por sua qualidade e importância para o campo.

Tabela 3: Estudos Sobre Aumento da Capacidade Cognitiva, Sensação de Bem-Estar e Performance com Neurofeedback, Escolhidos por sua Qualidade e Importância.

Autores e Data	N. Condição Ativa	Protocolo	Principal Conclusão
(E. Angelakis, et al., 2007)	3 (idosos)	↑Pico de Alfa	↑ Velocidade de Processamento; funções executivas em geral
(Hanslmayr, et al., 2005)	18	↑Pico de Alfa	↑ Rotação mental de objetos; raciocínio visual
(Egner & Gruzelier, 2004)	25	SMR vs. Beta 1	Beta 1 melhora velocidade de resposta; SMR diminui erros perceptivos
(Keizer, et al., 2009)	14	Gama	↑ Raven
(D. Vernon, et al., 2003)	20	↑Teta; ↑SMR (12-15 Hz)	Grupo que treinou SMR ↑atenção e alteração no EEG
(Egner & Gruzelier, 2003)	48	Alfa/Teta	↑Avaliação externa do desempenho musical
(Raymond, Sajid, et al., 2005)	6	Alfa/Teta	↑Avaliação externa do desempenho na dança
(Batty, et al., 2006)	10	Alfa/Teta	↓Estresse
(Raymond, Varney, Parkinson, & Gruzelier, 2005)	12	Alfa/Teta	↑Sensação de bem-estar
(A. Cortoos, et al., 2009)	9	↑SMR (12-15 Hz)	↓Latência para pegar no sono; ↑número de horas dormidas

Em paralelo a estes estudos selecionados destaca-se a recente introdução da hemoencefalografia (HEG), técnica baseada no treinamento do aumento da perfusão sanguínea no córtex pré-frontal, sob o mote de que ela se relaciona com os padrões eletrofisiológicos do cérebro (Leuchter, Uijtdehaage, Cook, O'Hara, & Mandelkern, 1999), ao passo que se faz menos suscetível a artefatos musculares e elétricos e ao mesmo tempo rende treinamentos mais intuitivos. Trata-se de um domínio em franco desenvolvimento, cercado de grande expectativa.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta revisão abordamos aspectos gerais do campo e algumas das principais aplicações do *neurofeedback* que mais crescem na atualidade: aumento da capacidade cognitiva, “*performance* de pico” e sensação de bem-estar em sujeitos normais e tratamento do déficit de atenção.

Aliada à preocupação em atingir os critérios bastantes de uma revisão sistemática sobre a eficácia e metodologia dos protocolos utilizados para as condições alinhavadas, pautamo-nos pela necessidade de responder especificamente às questões que mais frequentemente são levantadas pelos profissionais que adentram o campo: quais os tipos de montagem mais comuns, quais as indicações clínicas mais populares e possíveis efeitos neuroplásticos.

Dito isto, gostaríamos de finalizar este artigo explicitando que nem tudo o que se relaciona ao *neurofeedback* é tão simples quanto parece. É importante ter em vista que o bom profissional deve ser capaz de programar com alguma desenvoltura, adequando o tratamento às demandas e capacidades responsivas do paciente em tempo real. É comum encontrar psicólogos e psiquiatras de todo o mundo (nos grupos de discussão internacionais e supervisões) relatando a incapacidade de um determinado paciente de atingir as metas de um determinado protocolo, o qual é geralmente caracterizado por mais de uma demanda (\uparrow Beta/ \downarrow Teta; aumentar SMR em uma região sem aumentar em outras).

Estes casos costumam revelar a importância da capacidade de adequar o protocolo às possibilidades do paciente, até que este consiga evoluir para um tratamento mais complexo. Para facilitar isto, é de grande valia o fato de que a maioria dos *softwares* é bastante simples, utilizando linguagens computacionais intuitivas, geralmente providas de interfaces ao usuário (GUIs) no formato de

fluxograma. Ainda assim, é importante frisar a necessidade de alguma desenvoltura com este tipo de linguagem.

Outras necessidades que tampouco podem ser desprezadas são a de saber colocar os eletrodos de maneira correta, nos pontos corretos da cabeça, e a de saber corrigir problemas com ruídos advindos das reações musculares do paciente e da rede elétrica presente no ambiente. Sem dúvida alguma, estas são as dificuldades mais prementes na prática clínica. Para sua solução exige-se, em primeiro lugar, a capacidade de olhar para os dados brutos e distinguir o que é interferência daquilo que é típico da fisiologia cerebral do cliente. Em segundo lugar, exige-se a capacidade de fixar bem os eletrodos sobre o escalpo, o que pode envolver a necessidade de vencer os efeitos contrários do cabelo e dos movimentos involuntários do paciente (lembrando que, ao contrário do EEG neurológico padrão, o *neurofeedback* costuma ser realizado com o paciente sentado). Por fim, a prática clínica pode exigir soluções criativas. Por exemplo, é comum encontrar ruídos no EEG que permanecem incessantes até que se desconecte a bateria do computador, desligue-se um determinado aparelho de ar condicionado (mas não outros) ou se desloque a aparelhagem de um ponto a outro da sala.

Enfim, trata-se de uma técnica de evidente potencial, cuja metodologia de trabalho é bastante diretiva, mas que não pode ter suas dificuldades intrínsecas maquiadas. A nossa recomendação é que os interessados comecem por estudos em neurociência teórica, iniciação em computação biológica e algum contato com técnicas neurofisiológicas elementares, para então ascender ao uso em consultório com toda a consciência da responsabilidade de estar lidando com os padrões de funcionamento cerebral das outras pessoas e a importância de produzir engajamento do paciente, pois isto é o que há de mais importante.

REFERÊNCIAS

- Angelakis, E., Lubar, J. F., & Stathopoulou, S. (2004). Electroencephalographic peak alpha frequency correlates of cognitive traits. *Neuroscience Letters*, 371(1), 60-63.
- Angelakis, E., Stathopoulou, S., Frymiare, J. L., Green, D. L., Lubar, J. F., & Kounios, J. (2007). EEG Neurofeedback: A Brief Overview and an Example of Peak Alpha Frequency Training for Cognitive Enhancement in the Elderly. *The Clinical Neuropsychologist*, 21(1), 110 - 129.
- Arns, M., de Ridder, S., Strehl, U., Breteler, M., & Coenen, A. (2009). Efficacy of neurofeedback treatment in

- ADHD: the effects on inattention, impulsivity and hyperactivity: a meta-analysis. *Clinical EEG and Neuroscience*, 40(3), 180-189.
- Baehr, E., Rosenfeld, J. P., & Baehr, R. (2001). Clinical Use of an Alpha Asymmetry Neurofeedback Protocol in the Treatment of Mood Disorders - Follow-Up Study One to Five Years Post Therapy. *Journal of Neurotherapy*, 4(4), 11 - 18.
- Batty, M. J., Bonnington, S., Tang, B. K., Hawken, M. B., & Gruzelier, J. H. (2006). Relaxation strategies and enhancement of hypnotic susceptibility: EEG neurofeedback, progressive muscle relaxation and self-hypnosis. *Brain Research Bulletin*, 71(1-3), 83-90.
- Beauregard, M., & Levesque, J. (2006). Functional magnetic resonance imaging investigation of the effects of neurofeedback training on the neural bases of selective attention and response inhibition in children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 31(1), 3-20.
- Berger, H. (1929). Über das elektrenkephalogramm des menschen. *European Archives of Psychiatry and Clinical Neuroscience*, 87(1), 527-570.
- Brown, B. (1975). *The biofeedback syllabus: A handbook for the psychophysiological study of biofeedback*: Springfield: Charles C. Thomas Publisher.
- Cortooos, A., De Valck, E., Arns, M., Breteler, M. H., & Cluydts, R. (2009). An Exploratory Study on the Effects of Tele-neurofeedback and Tele-biofeedback on Objective and Subjective Sleep in Patients with Primary Insomnia. *Applied psychophysiology and biofeedback*, 35(2), 123-134.
- Doehnert, M., Brandeis, D., Straub, M., Steinhausen, H. C., & Drechsler, R. (2008). Slow cortical potential neurofeedback in attention deficit hyperactivity disorder: is there neurophysiological evidence for specific effects? *Journal of Neural Transmission*, 115(10), 1445-1456.
- Drechsler, R., Straub, M., Doehnert, M., Heinrich, H., Steinhausen, H. C., & Brandeis, D. (2007). Controlled evaluation of a neurofeedback training of slow cortical potentials in children with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD). *Behavioral and Brain Functions*: BBF, 3, 35.
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2003). Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *Neuroreport*, 14(9), 1221-1224.
- Egner, T., & Gruzelier, J. H. (2004). EEG biofeedback of low beta band components: frequency-specific effects on variables of attention and event-related brain potentials. *Clinical Neurophysiology*, 115(1), 131-139.
- Evans, J. (2007). *Handbook of neurofeedback: dynamics and clinical applications*: Londres: Informa HealthCare.
- Friel, P. N. (2007). EEG biofeedback in the treatment of attention deficit hyperactivity disorder. *Alternative Medicine Review*, 12(2), 146-151.
- Fuchs, T., Birbaumer, N., Lutzenberger, W., Gruzelier, J. H., & Kaiser, J. (2003). Neurofeedback treatment for attention-deficit/hyperactivity disorder in children: a comparison with methylphenidate. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 28(1), 1-12.
- Gevensleben, H., Holl, B., Albrecht, B., Schlamp, D., Kratz, O., Studer, P., et al. (2009). Distinct EEG effects related to neurofeedback training in children with ADHD: a randomized controlled trial. *International Journal of Psychophysiology*, 74(2), 149-157.
- Hanslmayr, S., Sauseng, P., Doppelmayr, M., Schabus, M., & Klimesch, W. (2005). Increasing individual upper alpha power by neurofeedback improves cognitive performance in human subjects. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 30(1), 1-10.
- Kamiya, J. (1969). Operant control of the EEG alpha rhythm and some of its reported effects on consciousness. In C. Tart (Ed.), *Altered states of consciousness*. (pp. 519-529). New York: Wiley,.
- Keizer, A. W., Verschoor, M., Verment, R. S., & Hommel, B. (2009). The effect of gamma enhancing neurofeedback on the control of feature bindings and intelligence measures. *International Journal Psychophysiology*, 75(1), 25-32.
- Leins, U., Goth, G., Hinterberger, T., Klinger, C., Rumpf, N., & Strehl, U. (2007). Neurofeedback for children with ADHD: a comparison of SCP and Theta/Beta protocols. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 32(2), 73-88.
- Leuchter, A. F., Uijtdehaage, S. H. J., Cook, I. A., O'Hara, R., & Mandelkern, M. (1999). Relationship between brain electrical activity and cortical perfusion in normal subjects. *Psychiatry Research: Neuroimaging*, 90(2), 125-140.
- Levesque, J., Beauregard, M., & Mensour, B. (2006). Effect of neurofeedback training on the neural substrates of selective attention in children with attention-deficit/hyperactivity disorder: a functional magnetic resonance imaging study. *Neuroscience Letter*, 394(3), 216-221.
- Monastra, V. J. (2008). Quantitative electroencephalography and attention-deficit/hyperactivity disorder: implications for clinical practice. *Current Psychiatry Reports*, 10(5), 432-438.
- Raymond, J., Sajid, I., Parkinson, L. A., & Gruzelier, J. H. (2005). Biofeedback and dance performance: a preliminary investigation. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 30(1), 64-73.
- Raymond, J., Varney, C., Parkinson, L. A., & Gruzelier, J. H. (2005). The effects of alpha/theta neurofeedback on personality and mood. *Brain Research. Cognitive Brain Research*, 23(2-3), 287-292.
- Rossiter, T. (2004). The effectiveness of neurofeedback and stimulant drugs in treating AD/HD: part II. Replication. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 29(4), 233-243.
- Strehl, U., Leins, U., Goth, G., Klinger, C., Hinterberger, T., & Birbaumer, N. (2006). Self-regulation of slow cortical potentials: a new treatment for children with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Pediatrics*, 118(5), e1530-1540.
- Tan, G., Thornby, J., Hammond, D. C., Strehl, U., Canady, B., Arnemann, K., et al. (2009). Meta-analysis of EEG biofeedback in treating epilepsy. *Clinical EEG and Neuroscience*, 40(3), 173-179.

- Thompson, L., & Thompson, M. (1998). Neurofeedback combined with training in metacognitive strategies: effectiveness in students with ADD. *Applied Psychophysiology Biofeedback*, 23(4), 243-263.
- Vaitl, D., Birbaumer, N., Gruzelier, J., Jamieson, G. A., Kotchoubey, B., Kubler, A., et al. (2005). Psychobiology of altered states of consciousness. *Psychological Bulletin*, 131(1), 98-127.
- Vernon, D., Egner, T., Cooper, N., Compton, T., Neilands, C., Sheri, A., et al. (2003). The effect of training distinct neurofeedback protocols on aspects of cognitive performance. *International Journal of Psychophysiology*, 47(1), 75-85.

Recebido em 24/11/2009

Aceito em 28/09/2010

Endereço para correspondência: Álvaro Machado Dias. Rua Ovidio Pires Campos s/n, Cerqueira Cesar, CEP 05403-000, São Paulo-SP, Brasil. *E-mail:* alvaromd@usp.br.