

Modelos de intervenção nos Transtornos da Atenção e Transtornos de Aprendizagem: música e neurofeedback

Cláudia da Silva
Paulo Estevão Andrade

Como citar: SILVA, Cláudia da; ANDRADE, Paulo Estevão. Modelos de intervenção nos Transtornos da Atenção e Transtornos de Aprendizagem: música e neurofeedback. *In:* OKUDA, Paola Matiko Martins; ANDRADE, Olga Valéria Campana dos Anjos; CAPELLINI, Simone Aparecida. (org.). **Tópicos em transtornos de aprendizagem:** parte IV. Marília: Fundepe; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2015. p. 223-239. DOI: <https://doi.org/10.36311/2015.978-85-7983-641-1.p223-239>.



All the contents of this work, except where otherwise noted, is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo o conteúdo deste trabalho, exceto quando houver ressalva, é publicado sob a licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Todo el contenido de esta obra, excepto donde se indique lo contrario, está bajo licencia de la licencia Creative Commons Reconocimiento-No comercial-Sin derivados 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Modelos de intervenção nos Transtornos da Atenção e Transtornos de Aprendizagem: música e *neurofeedback*

Cláudia da Silva
Paulo Estevão Andrade

Os modelos de intervenção para escolares com transtornos da atenção e transtornos da aprendizagem vêm sendo desenvolvidos e amplamente divulgados, pela literatura nacional e internacional, desde a década de 80. A investigação do desempenho desses escolares em programas de intervenção envolvendo as habilidades metalinguísticas e metacognitivas tem sido o foco de interesse desses pesquisadores, com o intuito de amenizar as dificuldades adquiridas no decorrer do processo de alfabetização, ou seja, durante o aprendizado da leitura e da escrita.

Dentre os diversos modelos de intervenção desenvolvidos destacam-se aqueles que envolvem o ensino explícito das regras de correspondência grafonômica, visando o treinamento da consciência fonológica, na tentativa de compreender quais habilidades são necessárias para a aquisição e desenvolvimento da leitura.

Com o avanço das técnicas de pesquisa, métodos inovadores são desenvolvidos, em busca e/ou aprimoramento do aprendizado não só da leitura e da escrita, mas também das habilidades relacionadas a esse aprendizado, sendo essas técnicas relacionadas a diversas atividades educativas/interventivas.

Tais atividades ganham destaque ao serem citadas práticas clínicas e educacionais que se relacionam diretamente as habilidades preditoras para a alfabetização. Entre elas, podemos citar: o brincar com o uso de jogos lúdicos educativos, visando o desenvolvimento e ampliação da linguagem, do vocabulário, da memória e da coordenação viso motora; outro exemplo seria o uso da musicalidade como instrumento construtor da memória de trabalho, das ha-

bilidades de consciência fonológica, do processamento auditivo, da percepção corporal, assim como, da coordenação motora e das relações sociais; mais um exemplo seria os jogos computadorizados (games e aplicativos) utilizados para a ampliação de vocabulário, aprendizado de noções matemáticas e em técnicas mais direcionadas, como é o caso do treinamento com o *neurofeedback*, buscando a melhora em aspectos atencionais, que tendem a refletir durante o processo de codificação e decodificação de letras e fonemas, respectivamente, para a identificação de sílabas e palavras.

Dentre as práticas citadas, o *neurofeedback* tem ganhado certo destaque, nos últimos anos, pelos pesquisadores interessados em verificar os padrões de atividade cerebral antes e após a estimulação, tanto em indivíduos com uma patologia já estabelecida quanto em indivíduos normais, em busca de melhor qualidade de vida.

O que é o *Neurofeedback*?

Para entendermos a técnica do *neurofeedback* é importante primeiro entendermos os conceitos de condicionamento (ou aprendizagem) clássico e operante. Por exemplo, na presença de comida um cachorro irá salivar abundantemente, um comportamento natural, não aprendido, diante de um estímulo biologicamente primário, reforçador, que é o alimento. Entretanto, se antes da apresentação da comida, o cachorro sempre ouvir um som (por ex., uma campainha), que funciona como um estímulo não biologicamente primário, ou neutro, ele passará, após certo tempo, a salivar assim que ouvir o som mesmo antes da apresentação do alimento, associando o primeiro ao segundo. Este tipo de aprendizagem em que ocorre uma simples associação entre dois estímulos é iniciada por eventos extrínsecos ao indivíduo e é conhecida como condicionamento clássico (Gazzaniga & Heatherton, 2005). No condicionamento operante o aprendizado é determinado ou se inicia pelas próprias ações ou comportamentos do indivíduo, as quais podem introduzir modificações no meio produzindo estímulos reforçadores ou não os quais vão modificando o comportamento (Gazzaniga & Heatherton, 2005; Prado, 2012).

O *neurofeedback* pode ser definido como um modelo de comportamento operante em que os participantes aprendem a controlar, isto é, influenciar

voluntariamente a atividade elétrica de seu próprio cérebro, tal como a amplitude, a frequência e/ou coerência de componentes eletrofisiológicos distintos gerados pelo eletroencefalograma (EEG) (Dias, 2010; Heinrich, Gevensleben, & Strehl, 2007; Hurt, Arnold, & Lofthouse, 2014; Nazari, Mosanezhad, Hashemi, & Jahan, 2012). O eletroencefalograma (EEG) representa a atividade elétrica espontânea do cérebro, principalmente o córtex, mas esta atividade também é regulada por estruturas subcorticais, particularmente o tálamo. Tradicionalmente, o EEG é dividido em diferentes faixas (ou bandas) de frequência, tais como delta (<4 Hz), teta (4–8 Hz), alfa (8–13 Hz), beta (13–30 Hz), e a banda associada ao ritmo sensorio-motor (RSM, 12–15 Hz) (Heinrich et al. 2007).

O treinamento com *neurofeedback* é realizado de forma individual. Os participantes têm os eletrodos do EEG fixados na cabeça e padrões eletrofisiológicos específicos (daí o termo “neuro”), isto é, a atividade em determinadas bandas de frequência é convertida em estímulos auditivos (sons, tons, etc.) ou visuais (figuras), ou a combinação de ambos, as quais são retroalimentadas para o indivíduo. Em outras palavras, estes estímulos (visuais e/ou auditivos) aparecem para o indivíduo em uma tela de computador informando-o sobre a banda de frequência e sua amplitude (intensidade) que seu cérebro está emitindo num determinado momento, daí o termo “retroalimentação” ou *feedback* (Cho et al., 2002; Gruzelier, 2014; Heinrich et al., 2007).

Assim, o *neurofeedback* é capaz de representar cada um dos componentes eletrofisiológicos relevantes separadamente. Por exemplo, determinada amplitude de uma frequência de EEG pode ser representada pelo tamanho de uma barra. A tarefa do indivíduo pode então ser a de aumentar o tamanho da barra da frequência treinada (que corresponde a um estado maior de atenção, melhor desempenho em uma tarefa cognitiva, etc.) e ao mesmo tempo diminuir o tamanho das barras que representam frequências inibitórias (que podem representar estados de desatenção). Ao ser bem sucedido, o feedback pode ser um tom ou símbolo visual que aparece indicando uma pontuação positiva (um acerto), com o objetivo de se alcançarem tantos pontos quanto possível (Cho et al., 2002; Gruzelier, 2014; Heinrich et al., 2007).

Estudos têm demonstrado uma clara associação entre a banda de frequência de ondas lentas teta (4-7 Hz) e a sonolência e desatenção. Um excesso de atividade das ondas (frequências) lentas teta na linha média do córtex frontal combinada a uma baixa atividade de ondas beta baixas (beta1: 15-20 Hz)

nas regiões posteriores e temporais, é um padrão de atividade eletrocortical típico de adultos e crianças com TDAH. Além disso, a alta atividade teta e baixa atividade na banda de frequência do ritmo sensório-motor (RSM, 12–15 Hz) também estão relacionadas às características comportamentais de TDAH (inatensão e hiperatividade). De fato, estudos sobre o treinamento com neurofeedback para aumentar as relações RSM/teta e a beta1/teta revelam uma clara melhora da atenção e da memória de trabalho (Gruzelier & Egner, 2005; Heinrich et al., 2007).

Ao produzir sensações internas associadas às diferentes configurações de retroalimentação, os participantes aprendem a modular o EEG. O *neurofeedback* alpha/theta (aumentar alpha e diminuir teta) permite ganhar controle sobre a atividade EEG de baixa frequência e permanecer em um estado de relaxamento profundo sem cair no sono. Tem sido demonstrado que têm benefícios clínicos no tratamento de alcoolismo e abuso de cocaína e *crack*. Em indivíduos saudáveis, tem sido mostrado melhorar a arte em estudantes de música, bem como a apresentação de dança em um estudo recente de campeões de dança de salão e dança latina na universidade (Cho et al., 2002; Gruzelier, 2014; Heinrich et al., 2007).

Em suma, no treinamento com *neurofeedback* o indivíduo aprende a detectar padrões específicos de seu EEG por meio da retroalimentação com figuras e/ou sons, os quais podem ser positiva ou reforçadora ou não. O objetivo é ensinar aos indivíduos a sentirem-se em estados específicos de ativação cortical e a ativarem esses estados voluntariamente, modificando os próprios padrões eletrofisiológicos para níveis associados a melhor desempenho ou estado emocional-afetivo. O *neurofeedback* tem sido aplicado em indivíduos com uma variada gama de condições clínicas tais como: epilepsia, transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDA/H) e para otimizar o desempenho em sujeitos saudáveis.

Atualmente, o treino com o *neurofeedback* está associado ao uso da técnica para o aumento da capacidade cognitiva, do desempenho artístico e atlético, com a sensação de bem-estar (diminuição do stress, melhora do sono, aumento do rendimento físico e maior estabilidade psíquica/emocional) de indivíduos normais e, altamente vinculada; ao uso para contornar a necessidade de medicação em quadros de dificuldades de aprendizado, especialmente para o Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade (TDAH) (Cerquera, Arns, Buitrago, Gutiérrez, & Freund 2012; Ros, Munneke, Parkinson, & Gruzelier, 2014; Ring,

Cooke, Kavussanu, McIntyre, & Masters, 2015). Estas duas categorias de aplicações cognitivas (não clínica/clínica) representam campos especialmente interessantes ao *neurofeedback*, uma vez que há abrangência de ambas as demandas e a restrita disponibilidade de recursos não farmacológicos comprovadamente eficazes para dar conta de tais demandas.

Associação entre intervenção fonológica e o treinamento com o *neurofeedback*

Mesmo com dados de diversas pesquisas científicas sugerindo e, em alguns casos, confirmando o aumento do desempenho em habilidades cognitivo-linguísticas após a realização dos programas de intervenção com base fonológica, refletindo diretamente no aprendizado da leitura e da escrita, evidências comportamentais podem e devem ser acrescidas de medidas neurofisiológicas que possibilitem identificar marcadores que auxiliem o controle da eficácia terapêutica destes programas (Fadini & Capellini, 2011; Silva, 2013; Silva & Capellini, 2011). Seguindo essa vertente, estudos realizados nos últimos anos demonstraram que o treinamento com *neurofeedback* com escolares com problemas de aprendizagem aumentam a ativação cerebral de áreas relacionadas ao aprendizado da leitura no nível de decodificação da palavra (Breteler, Arns, Peters, Giepmans, & Verhoeven, 2010; Cerquera et al., 2012; Cho et al., 2002; Vlachos, Andreou, & Delliou, 2013).

Estudos relacionando à proposta de intervenção fonológica à prática recente de treinamento com *neurofeedback*, cujos resultados têm se revelado positivos para escolares com transtorno de atenção e transtornos de aprendizagem, tem sido desenvolvidos na última década. Tais estudos partem da premissa de que a intervenção fonológica atua buscando o desenvolvimento das habilidades predictoras para a alfabetização (leitura, escrita, consciência fonológica, processamento visual, processamento auditivo e velocidade de processamento) e associada ao treinamento com o *neurofeedback*, esse aprendizado deve ser maximizado, uma vez que, o *neurofeedback* atua no funcionamento de áreas cerebrais específicas, além de ampliar a memorização e concentração no desenrolar das atividades (Breteler et al. 2010; Nazari et al., 2012).

Assim, a prática do *neurofeedback* associada aos casos de transtorno de atenção e aprendizagem é entendida como um treino direto da função cerebral, que permite que o cérebro seja estimulado e passe a funcionar de forma mais eficiente, principalmente durante situações de aprendizado, trata-se, portanto, de um processo gradual de aprendizagem em que podemos observar e “controlar/treinar” o funcionamento cerebral em diferentes atividades cognitivo-linguísticas.

As sessões de treinamento geralmente duram entre 30 e 60 minutos e são repetidas duas vezes por semana, sendo que, o número de sessões necessárias para a obtenção de resultados clínicos significativos varia de acordo com cada condição, o que não torna possível estabelecer um número fixo de sessões no início da terapia. As sessões de intervenção fonológica, normalmente, são realizadas após o treinamento com o *neurofeedback*, com duração em média de 50 minutos cada, que engloba atividades de reconhecimento das letras do alfabeto em sequência e aleatórias, relação letra/ som para o aprendizado grafonêmico, aliterações, rimas, manipulação silábica, análise e síntese silábica e fonêmica, segmentação silábica e fonêmica, transposição fonêmica, adição e subtração silábica e fonêmica, entre outras. O número de sessões pode ser definido de acordo com o programa utilizado ou a critério do próprio terapeuta, no entanto, não é recomendado um número inferior a 10 sessões, uma vez que o escolar necessita sistematizar o aprendizado de diversas habilidades (Dias, 2010; Ros et al., 2014).

Breteler, Arnas, Peters e Verhoeven (2010) investigaram o desempenho de escolares com dislexia ao treino com *neurofeedback* isolado e associado a provas fonológicas em 19 escolares com dislexia, utilizando o exame de eletroencefalografia (EEG), em que foi possível verificar mudanças, predominantemente, na área temporal do hemisfério esquerdo. Os autores encontraram evidências de alterações no funcionamento da região frontal-central que estão relacionados com as modificações nos resultados dos processos atencionais, refletindo diretamente nas práticas de leitura e, conseqüentemente, na habilidade de soletração.

A análise visual incluindo os resultados do exame EEG em 109 crianças com TDAH e com dislexia entre 6 a 17 anos, após o treinamento com *neurofeedback*, identificou alterações, referentes ao aumento do funcionamento nas regiões occipital e fronto-temporo-parietal, indicando melhora nos processos atencionais e comportamentais durante a atividade proposta (Kubik, Bogot-

ko-Szarszewsha, Tutaj, & Laski, 2010; Lonigan, Purpura, Wilson, Walker, & Menchetti, 2013; Vlachos et al., 2013).

Pesquisadores recomendam o uso do treinamento com *neurofeedback* para escolares com transtornos da atenção e transtornos da aprendizagem, baseados na evidente melhora atencional identificada no EEG. Para esses pesquisadores o treinamento com o *neurofeedback* interfere na habilidade de reconhecimento e decodificação letra/som, uma vez que aumenta a concentração e a atenção sustentada durante as atividades, maximizando assim, o processo de aprendizagem da leitura e da escrita (Breteler et al, 2010; Cerquera et al., 2012; Aravena, Nellings, Tijms, & Van Der Molen, 2013).

O estudo desenvolvido por Nazari, Mosanezhad, Hashemi e Jahan (2012) ofereceu suporte a essa hipótese, uma vez que, os pesquisadores investigaram o treinamento com *neurofeedback* associado a habilidades fonológicas em escolares, de 6 a 10 anos, com dificuldades em leitura. Foram realizadas 20 sessões com duração de 30 minutos cada, durante dois meses. Os resultados apresentados indicaram melhora na leitura e nas habilidades de consciência fonológica, assim como, sugere a possibilidade de integração entre as áreas sensoriais e motoras para a realização desta tarefa, observado no EEG.

Dessa forma, torna-se possível verificar que a relação entre a intervenção fonológica associada e a prática do *neurofeedback* tem se mostrado fortes aliados no trabalho com indivíduos com transtornos de atenção e aprendizagem, no entanto, deve ser ressaltado que 90% dessas pesquisas indicam que por se tratar de um estudo relativamente recente, alguns cuidados devem ser tomados, uma vez que, o *neurofeedback* aparentemente não se refere a uma prática tão simples de treinamento, dessa forma, não deve ser desprezada a maneira de colocar os eletrodos nos pontos corretos da cabeça e nem as interpretações dos ruídos advindos das reações musculares dos pacientes, elas devem ser interpretadas e mensuradas, para que não interfiram no resultado do exame de EEG (Dias, 2010; Gruzelier, 2014; Vlachos et al., 2013).

Assim como, essas pesquisas sugerem o aumento da amostra com as mesmas técnicas e com diferentes metodologias interventivas, que associam a intervenção fonológica ao treinamento com *neurofeedback*, para que seja possível fortalecer os resultados e a produção de cada vez mais estudos corroborativos aos já desenvolvidos no decorrer dos últimos anos.

Por que a música?

De um modo geral, a cultura ocidental atual entende a arte como um campo eminentemente estético e subjetivo associado principalmente a aspectos emocionais-afetivos. (Andrade & Andrade, 2012). De fato, por ser uma forma de arte que tem como produto final o “invisível” a música é considerada a mais subjetiva das formas de arte e a que mais se presta à abstração (Andrade, 2004). Diferentemente das palavras, os sons musicais não se referem a nenhum outro objeto concreto ou abstrato fora dele. Isto é, diferentemente da linguagem oral, a música é não referencial. Assim, na educação, a música (tal como a arte de um modo geral) é principalmente vista apenas como tema transversal, um complemento para enriquecer a formação do indivíduo (Andrade & Andrade, 2012).

Entretanto, ao contrário da visão da música como uma busca puramente estética e não utilitária, um exame parcimonioso do fenômeno musical nas sociedades nos mostra que ela é parte inextricável da essência humana. A música sempre esteve presente em todas as culturas humanas, existentes ou extintas. Sempre associada às emoções, a música deixa as pessoas alegres ou tristes, calmas ou ansiosas. É inerente às interações mãe-criança e às tradições orais em rituais de música, dança e jogos, nas histórias sobre a natureza, sobre relações interpessoais, sobre heróis e mitos educativos (incluindo histórias as origens do grupo), em cerimônias de iniciação para ambos os sexos (à idade adulta, à caça, etc.), em rituais sagrados de comunicação com os deuses e os antepassados, em rituais de cura, etc., e, finalmente, no dia-a-dia para aliviar as tensões. Nas sociedades atuais capitalistas, a música é usada de forma semelhante. Sua presença ubíqua nas culturas humanas e a similaridade funcional com que se manifesta, sugere uma profunda necessidade humana de criar, ouvir e fazer música, e uma natureza humana profundamente musical (Andrade, 2004; Andrade & Konkiewitz, 2011)

Todas as culturas possuem melodias e ritmos com maior ou menor grau de métrica. A métrica e o ritmo facilitam a sincronização dos movimentos corporais na dança, no bater de palmas, na marcha, no canto, etc. Diferentemente dos animais, crianças e adultos humanos apresentam o comportamento espontâneo de acompanhar a música com movimentos corporais, mesmo durante a escuta solitária (Andrade, 2004; Andrade & Konkiewitz, 2011). Os bebês são claramente atraídos pela música e responsivos ao seu conteúdo emocional des-

de as primeiras semanas de vida. Suas respostas motoras ao ritmo começam a ocorrer somente por volta de 1 ano com movimentos de corpo e cabeça, mas a periodicidade (sincronia) começa a se desenvolver normalmente entre os 2 e os 5 anos. Mas, mesmo bebês de apenas 7 meses demonstram preferência pelos ritmos musicais correspondentes ao balanço de colo a que foram previamente submetidos numa fase de treinamento, olhando por mais tempo a caixa de som que toca esses ritmos (Andrade & Konkiewitz, 2011).

De fato, muitos autores defendem que um dos mais importantes aspectos universais da música é sua capacidade de facilitar a coordenação e sincronia dos movimentos humanos envolvidas nas atividades sócio-interacionistas e coletivas. Cada vez mais se enfatiza a importância da percepção da pulsação e sincronização como uma característica unicamente humana e de alto valor adaptativo (Patel, 2007). Os jogos de imitação com música e dança são universais e as próprias danças tribais podem ser vistas como uma das mais frequentes formas de jogos de imitação, usadas para desenvolver o senso de “pertencimento ao grupo”, ambos os sentimentos de “ser como o outro” e de o outro “ser como eu” e assim de pertencer a um grupo (Cross, 2003; Panksepp, 1995; veja Andrade & Konkiewitz, 2011).

Se os estudos de lesão revelam as áreas que parecem ser cruciais para certas tarefas musicais, particularmente os córtices perissilvianos do HD para a percepção e reconhecimento de melodias, os estudos de neuroimagem mostram que a percepção musical nos indivíduos saudáveis envolve várias áreas distribuídas por todo o cérebro. Tarefas envolvendo a audição ativa e atenta na percepção e discriminação de padrões melódicos baseada em detalhes revelam ativação de estruturas cerebrais classicamente tidas como cruciais para linguagem, outras para a motricidade, e outras para o processamento visoespacial, consistentemente com os comportamentos musicais universais previamente descritos. Dentre estas regiões destacamos a área de Broca e o córtex parietal inferior esquerdo, conhecidas por seu envolvimento na memória de trabalho verbal e na sintaxe linguística, os córtices premotores, e áreas visoespaciais como cúneo e precúneo na região medial do córtex parietal, dentre outras (Andrade & Konkiewitz, 2011). Além disso, a percepção e memória de curto prazo para sequências musicais e ritmos envolvem áreas linguísticas do hemisfério esquerdo (Andrade & Konkiewitz, 2011) e são habilidades musicais que se cor-

relacionam com as habilidades fonológicas e de leitura e escrita (Zuk, Andrade, Andrade, Gardiner, & Gaab, 2013).

A maioria das pessoas alega ouvir música para evocar emoções, ou para aliviar o tédio. Hoje sabemos que a compreensão ou apreciação emocional de uma música não depende exclusivamente da apropriação cultural dos códigos de um determinado sistema musical. Em vez disso, a música é capaz de evocar fortes emoções de uma forma universal e independentemente da história sociocultural do ouvinte. Assim, as emoções musicais são diretas e imediatas. As fortes emoções musicais são altamente consistentes entre os sujeitos de várias culturas, tanto em estudos intra, quanto interculturais, podendo ser de valência tanto positiva quanto negativa, dependendo dos aspectos particulares e universais da estruturação musical (Andrade, 2004; Andrade & Konkiewitz, 2011).

Consistentemente com as observações antropológicas e psicológicas, as respostas emocionais à música são acompanhadas por alterações psicofisiológicas ou autonômicas, tais como alterações na circulação sanguínea, na condutividade elétrica da pele, na temperatura corporal, dentre outras. Respostas geralmente descritas como arrepios, calafrios, lacrimejamento, etc., estão relacionadas a ativações de áreas subcorticais envolvidas no comportamento aversivo (de fuga), tal como o giro parahipocampal e a amígdala, ou de áreas que compõem o circuito de recompensa, como o sistema mesolímbico e o córtex orbitofrontal (Andrade, 2004; Andrade & Konkiewitz, 2011).

Enfim, argumenta-se que, a despeito de possuir alguns aspectos modulares ou domínio-específicos no HD, é a natureza supramodal e interativa da música, que envolve muitos domínios biologicamente relevantes, como: linguagem, motricidade, espaço e emoção, o principal fator da sua força evolutiva (Cross, 2003). E não há dúvidas de que são esses os principais aspectos que fizeram com que a música fosse universalmente usada pelas diversas culturas como instrumento de cura, e que atualmente suportam uma abordagem musicoterapêutica baseada em evidência (Andrade & Konkiewitz, 2011).

Estratégias de intervenção associadas à música

Existem poucos estudos sobre música e neurofeedback na intervenção do TDA/H, o que é surpreendente, dado o fato de que os adolescentes são usuá-

rios ativos de mídia musical (North, Hargreaves, & O'Neill, 2000). Pratt, Abel e Skidmore (1995) treinaram 19 crianças com do tipo desatento (TDA) e combinado (TDA/H) para diminuir ondas theta e aumentar beta na presença ou ausência de música de fundo (música instrumental de Mozart). As músicas apresentavam um padrão consistente de harmonia (acordes simples e consonantes) e ritmo (lentas). Todos os sujeitos apresentaram melhoras no foco atencional, no comportamento impulsivo, nas habilidades sociais e no controle do humor, mas as crianças TDA treinadas na presença de música de fundo apresentaram ganhos ainda maiores no foco atencional.

Um tratamento recente de *neurofeedback* sonorizado, o Sistema Musical Cerebral (SMC), usa a música como reforçador no condicionamento operante. O SMC converte as atividades eletrocorticais em sons musicais usando algoritmos de processamento dos sinais digitais que determinam as notas musicais e suas durações, etc. Dessa forma, composições musicais individualizadas são derivadas dos próprios padrões de ondas cerebrais dos sujeitos para melhorar a duração do sono e qualidade, levando a mensuráveis melhorias em ambos, o desempenho e humor (DuRousseau, Mindlin, Insler, & Levin, 2011) bem como os sintomas do autismo, cujos principais prejuízos estão na interação social, comunicação verbal e comportamentos repetitivos, mas com quadros secundários de privação de sono, hiperatividade, ansiedade, agressividade, comportamento disruptivo e auto-injúria (Trevisan, Cavallari, & Attard, 2013).

DuRousseau e colegas criaram dois tipos de música a partir das ondas cerebrais de policiais e bombeiros, uma excitante e outra relaxante, com base nas frequências de pico de bandas de EEG delta (1-4 Hz) até beta (até 30 Hz). O objetivo era testar uma intervenção para melhorar a qualidade do sono, do humor e do trabalho diário. Os resultados indicaram melhorias estatisticamente significativas em todos estes parâmetros.

Com relação ao autismo, a literatura sugere que há um excesso de ondas delta e um baixo nível de ondas alfa e beta. Trevisan e colegas conseguiram uma significativa redução de ondas delta com a técnica de neurofeedback musical SMC em sujeitos autistas de 6 a 18 anos, o que também refletiu na melhora dos sintomas de acordo com relato dos pais e dos próprios sujeitos (Trevisan et al., 2013).

Em contraste à escassez de estudos sobre o uso da música como ferramenta de reforço no neurofeedback, há uma maior quantidade de estudos, em-

bora ainda poucos, sobre o efeito do neurofeedback no desempenho musical. Vimos que a intervenção para melhoria da atenção em crianças e adultos com TDAH por meio do *neurofeedback* tem empregado o treinamento em duas bandas de frequência principais, a RSM (12-15 Hz) e o baixo beta (ou beta 1: 15-20 Hz), normalmente combinadas com a inibição das ondas lentas da atividade teta (4-7 Hz). Gruzelier e colegas desenvolveram vários trabalhos para verificar se as mesmas melhorias cognitivas obtidas com populações clínicas com TDA/H poderiam ser observadas em indivíduos saudáveis, incluindo indivíduos músicos (Gruzelier & Egner, 2005).

Um protocolo recente de *neurofeedback* alfa-teta, que treina o aumento nos níveis de theta (4-8 Hz) sobre alfa (8-12 Hz), usado como um coadjuvante para o tratamento de alcoolismo e stress pós-traumático, também foi incluído por Gruzelier e colaboradores para investigar os efeitos do neurofeedback em indivíduos músicos (Gruzelier & Egner, 2005). Estes estudos procuraram investigar o efeito do treinamento com *neurofeedback*, incluindo o treinamento da relação alfa/teta (A/T) em certas competências musicais como a técnica instrumental, a musicalidade, a capacidade expressiva e a qualidade de desempenho global, que foram mensuradas com base no esquema de pontuação das Escolas Reais de Música da Inglaterra.

De um modo geral os resultados demonstraram que não houve qualquer alteração de desempenho em nenhuma competência musical após o treino nas ondas RSM e beta1. Em contraste, observaram-se significativas melhorias nos escores de musicalidade, expressão estilística e qualidade total de desempenho global após o treinamento A/T. Vale enfatizar que o treinamento A/T não levou à melhora das habilidades técnicas, mas sim dos atributos de expressão artística o que acabou por resultar na melhora do desempenho musical global (Gruzelier & Egner, 2005).

A evidência indica que teta também parece estar associada com o aumento dos sentimentos de bem-estar e relaxamento, bem como tem um relevante papel em uma série de processos de controle de memória (Gruzelier & Egner, 2005). Porém, dado que todos os três protocolos de neurofeedback (RSM, beta1 e alfa/teta) apresentaram melhoras no relaxamento não havendo diferença entre eles neste aspecto, a explicação mais provável dos benefícios do treinamento A/T na musicalidade só pode ser explicado pelos seus efeitos na memória.

Em um estudo recente de Gruzelier e colaboradores investigou-se o efeito do neurofeedback A/T e RSM em novatos musicais de 11 anos e controles sem treinamento tanto no desempenho musical ensaiado quanto na improvisação criativa, tendo essa última tarefa maior demanda cognitiva que a primeira, bem como, na atenção sustentada. Foi o primeiro estudo de neurofeedback controlado em um ambiente escolar e confirmou o efeito positivo do treinamento A/T na performance musical treinada, e ineditamente observou-se seu efeito positivo na improvisação criativa e na atenção sustentada. Pela primeira vez observou-se o efeito positivo do treinamento RSM, particularmente na improvisação criativa. O aumento da atenção sustentada e a diminuição da impulsividade foram observados em ambos os protocolos (Gruzelier, Foks, Steffert, Chen, & Ros, 2014).

Considerações finais

Vários estudos mostram os efeitos benéficos do *neurofeedback* em bandas de frequência associadas com memória, atenção, relaxamento e bem estar, em transtornos psiquiátricos como o TDA/H e TEA, transtornos de aprendizagem, bem como em indivíduos saudáveis, incluindo o desempenho musical de crianças iniciantes e adultos de alta performance. Por outro lado, a música revela um grande potencial como estímulo coadjuvante ou principal nos esquemas de reforço operante do neurofeedback.

Há fortes evidências das origens evolucionárias e neurobiológicas da música e suas implicações terapêuticas. Primeiro, a música é um comportamento universal, presente em todas as culturas. Segundo, apesar de evidências de alguns mecanismos músico-específicos no hemisfério direito (HD), estudos de lesão e de neuroimagem revelam que a música é também altamente supramodal e interage com múltiplos domínios cerebrais, recrutando ativação bilateral em regiões envolvidas com o processamento das emoções, bem como o processamento linguístico, motor e espacial. Terceiro, os padrões básicos de organização melódica e temporal da música são compartilhados entre as culturas, uma propriedade análoga às regras universais da sintaxe compartilhadas por diferentes línguas. Quarto, as respostas dos ouvintes à música também são universais através das culturas. Quinto, estudos de neurodesenvolvi-

to mostram que bebês processam padrões musicais semelhantemente aos dos adultos, fornecendo evidências de mecanismos transcendentais à cultura. Sexto, a música evoca emoções genuínas e fortes, ativando estruturas cerebrais filogeneticamente antigas do sistema límbico. Finalmente, a literatura sobre a psicologia e a neurocognição musical sugere que a música seja definida com base no som e no movimento, uma forma de comunicação baseada no som e corporificada, não referencial e cujo conteúdo é essencialmente emocional. Como a música ativa áreas cerebrais envolvidas no processamento linguístico, espacial, motor e emocional, induzindo neuroplasticidade, ela representa uma possibilidade terapêutica de baixo risco e de baixo custo (Andrade, 2004; Andrade & Konkiewitz, 2011).

O protocolo do *neurofeedback* musical tem se mostrado preciso e altamente viável em termos de custo devido à natureza pouco dispendiosa e portátil do sistema proposto. Além disso, o *neurofeedback* musical pode ser utilizado tanto dentro ou até mesmo fora do ambiente clínico tradicional para indivíduos que sofrem de uma grande variedade de condições mentais e neurológicas.

Referências

- Andrade, P. E. (2004). Uma abordagem evolucionária e neurocientífica da música. *Neurociências*, 1(1), 21-33.
- Andrade, P. E., & Konkiewitz, E. C. (2011). Fundamentos neurobiológicos da música e suas implicações para a saúde. *Neurociências*, 7(3), 171-183.
- Andrade, P. E. & Andrade, O. V. C. A. (2012). Arte e Educação: uma abordagem neurocientífica [Trabalho Completo]. Em: *Ciências e Cognição 2012, Anais do II Encontro Ciências e Cognição* (online). Rio de Janeiro: Ciências e Cognição. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/ecc>>.
- Aravena, S., Nellings, P., Tijms, J., & Van Der Molen, M. W. (2013). A lab-controlled simulation of a letter-speech sound binding deficit in dyslexia. *Journal of Experimental Child Psychology*, 115, 691-707. doi: 10.1016/j.jecp.2013.03.009.
- Breteler, M. H. M., Arns, M., Peters, S., Giepmans, I., & Verhoeven, L. (2010). Improvements in spelling after QEEG-based neurofeedback in dyslexia: a randomized controlled treatment study. *Applied Psychophysiology and Biofeedback*, 35, 5-11. doi: 10.1007/s10484-010-9129-7.

- Cerquera, A., Arns, M., Buitrago, E., Gutiérrez, R., & Freund, J. (2012). Nonlinear dynamics measures applied to EEG recordings of patients with Attention Deficit/Hyperactivity Disorder: Quantifying the effects of a neurofeedback treatment. In *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE* (pp. 1057-1060). IEEE. doi: 10.1109/EMBC.2012.6346116.
- Cho, B. H., Lee, J. M., Ku, J. H., Jang, D. P., Kim, J. S., Kim, I. Y. et al. (2002). Attention enhancement system using virtual reality and EEG biofeedback. In *Virtual Reality, 2002. Proceedings. IEEE* (pp. 156-163). IEEE. doi: 10.1109/VR.2002.996518.
- Cross, I. (2003). Music as a biocultural phenomenon. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 106-111. doi: 10.1196/annals.1284.010.
- Dias, A. M. (2010). Tendências do neurofeedback em psicologia: revisão sistemática. *Psicologia em Estudo*, 15 (4), 811-820.
- DuRousseau, D. R., Mindlin, G., Insler, J., & Levin, I. I. (2011). Operational study to evaluate music-based neurotraining at improving sleep quality, mood, and daytime function in a first responder population. *Journal of Neurotherapy*, 15, 389-398. doi: 10.1080/10874208.2011.623096.
- Fadini, C. C., & Capellini, S. A. (2011). Eficácia do treinamento de habilidades fonológicas em crianças de risco para a dislexia. *Revista Cefac*, 13 (5), 856-865.
- Gazzaniga, M. S., & Heatherton, T. F. (2005). *Ciência psicológica: mente, cérebro e comportamento*. Porto Alegre: Artmed.
- Gruzelier, J., & Egner, T. (2005). Critical validation studies of neurofeedback. *Child and Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 14, 83-104. doi: 10.1016/j.chc.2004.07.002.
- Gruzelier, J. H. (2014). EEG-neurofeedback for optimising performance. III: A review of methodological and theoretical considerations. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 44, 159-182. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.03.015.
- Gruzelier, J. H., Foks, M., Steffert, T., Chen, M. J. L., & Ros, T. (2014). Beneficial outcome from EEG-neurofeedback on creative music performance, attention and well-being in school children. *Biological Psychology*, 95, 86-95. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.04.005.
- Heinrich, H., Gevensleben, H., & Strehl, U. (2007). Annotation: neurofeedback—train your brain to train behaviour. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 48(1), 3-16.
- Hurt, E., Arnold, L. E., & Lofthouse, N. (2014). Quantitative EEG neurofeedback for the treatment of pediatric Attention- Deficit/Hyperactivity Disorder, Autism

- Spectrum Disorders, Learning Disorders, and Epilepsy. *Child & Adolescent Psychiatric Clinics of North America*, 23, 465-486. doi: 10.1016/j.chc.2014.02.001.
- Kubik, A., Bogotko-Szarszewsha, M., Tutaj, M., & Laski, S. (2010). Electroencephalography in children with ADHD started with neurofeedback therapy. *Przegląd Lekarski*, 67(9), 677-681.
- Lonigan, C. J., Purpura, D. J., Wilson, S. B., Walker, P. M., & Menchetti, J. C. (2013). Evaluating the components of an emergent literacy intervention for preschool children at risk for reading difficulties. *Journal of Experimental Child Psychology*, 114, 111-130. doi: 10.1016/j.jecp.2012.08.010.
- Nazari, M. A., Mosanezhad, E., Hashemi, T., & Jahan, A. (2012). The Effectiveness of Neurofeedback Training on EEG Coherence and Neuropsychological Functions in Children with Reading Disability. *Clinical EEG and Neuroscience*, 43(4), 315-322.
- North, A. C., Hargreaves, D. J., & O'Neill, S. A. (2000). The importance of music to adolescents. *British Journal of Educational Psychology*, 70(2), 255-272. doi: 10.1348/000709900158083.
- Panksepp, J. (1995). The emotional sources of “chills” induced by music. *Music Perception*, 13, 171-207. doi: 10.2307/40285693.
- Patel, A. D. (2007). *Music, language, and the brain*. Oxford university press.
- Prado, P. S. T. (2012). Princípios da Análise do Comportamento e sua aplicação ao entendimento da aprendizagem da leitura e de habilidades pré-aritméticas. In S. M. R. Carvalho, P. U. R. Bataglia (Eds.), *Psicologia e Educação: temas e pesquisas* (pp. 83-116). Marília, SP: Oficina Universitária/Cultura Acadêmica.
- Pratt, R. R., Abel, H. H., & Skidmore, J. (1995). The effects of neurofeedback training with background music on EEG patterns of ADD and ADHD children. *International Journal of Arts Medicine*, 4(1), 24-31.
- Ring, C., Cooke, A., Kavussanu, M., McIntyre, D., & Masters, R. (2015). Investigating the efficacy of neurofeedback training for expediting expertise and excellence in Sport. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 118-127. doi: 10.1016/j.psychsport.2014.08.005.
- Ros, T., Munneke, M. A. M., Parkinson, L. A., & Gruzelier, J. H. (2014). Neurofeedback facilitation of implicit motor learning. *Biological Psychology*, 95, 54-58. doi: 10.1016/j.biopsycho.2013.04.013.
- Silva, C. (2013). *Programa de intervenção fonológica com escolares de risco para a dislexia: intervenção e avaliação*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista – UNESP, Marília.

- Silva, C., & Capellini, S. A. (2011). *Programa de remediação fonológica: proposta de intervenção fonológica para dislexia e transtorno de aprendizagem*. São José dos Campo: Pulso Editorial.
- Trevisan, A. A., Cavallari, P., & Attard, F. (2013). A portable sonified neurofeedback therapy for Autism Spectrum Disorder patients-an initial evaluation. *Journal of Neurological Disorders*, 1, 2-15. doi: 10.4172/2329-6895.1000133.
- Vlachos, F., Andreou, E., & Delliou, A. (2013). Brain hemisphericity and developmental dyslexia. *Research in Developmental Disabilities*, 34, 1536-1540. doi: 10.1016/j.ridd.2013.01.027.
- Zuk, J., Andrade, P. E., Andrade, O. V., Gardiner, M., & Gaab, N. (2013). Musical, language, and reading abilities in early Portuguese readers. *Frontiers in psychology*, 4, 1-12. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00288.