

# O cérebro musical: por uma neurociência da música aplicada à saúde

*The musical brain: towards a neuroscience of music applied to health*

Mauro Muszkat<sup>1</sup> ; Luiz Rogério J. Carrer<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Doutor em Neurologia (UNIFESP), Professor do Departamento de Psicobiologia da Unifesp e do Programa de Pós-Graduação de Saúde e Educação da Infância e Adolescência (UNIFESP), Coordenador do Núcleo de Atendimento Infantil Interdisciplinar (NANI/UNIFESP) do Departamento de Psicobiologia da UNIFESP

<sup>2</sup> Doutor em Psicobiologia (UNIFESP), pesquisador no Núcleo de Atendimento Neuropsicológico Infantil Interdisciplinar (NANI/UNIFESP) do Departamento de Psicobiologia da UNIFESP. Musicoterapeuta na área de transtornos do neurodesenvolvimento.

## Resumo

Neste artigo de revisão abordamos o campo das neurociências aplicadas à música e à saúde enquanto um campo fascinante que investiga os efeitos da música no cérebro humano e como a música pode influenciar a saúde física e psíquica das pessoas. A música ativa várias áreas do cérebro de forma simultânea, envolvendo regiões ligadas às emoções, além de áreas ligadas ao controle motor e comportamental e das redes neurais ligadas às memórias e linguagem. A utilização da música em contexto musicoterapêutico também pode contribuir para diminuir a ansiedade e modular o humor, com impacto positivo no desenvolvimento cognitivo e melhorando as habilidades motoras, de concentração e memória, sendo uma ferramenta terapêutica para várias condições médicas desde a reabilitação, incluindo transtornos neurológicos e transtornos do neurodesenvolvimento, até o tratamento de demências com resultados positivos nas funções executivas e memórias.

**Palavras-chave:** Música; Neurociências; Neurodesenvolvimento; Musicoterapia; Cognição.

---

**Autor correspondente:**

Mauro Muszkat

**E-mail:** maumuszkat@uol.com.br.

**Fonte de financiamento:**

Não se aplica

**Parecer CEP:**

Não se aplica

**Procedência:**

Não encomendado

**Avaliação por pares:**

Externa

**Recebido em:** 23/02/2024

**Aprovado em:** 05/03/2024

---

**Como citar:** Muszkat M, Carrer LRJ. O cérebro musical: por uma neurociência da música aplicada à saúde. RCS Revista Ciências da Saúde - CEUMA, 2024; 2(1):80-101. <https://doi.org/10.61695/rcs.v2i1.20>

## Abstract

In this review article, we address the field of neurosciences applied to music and health as a fascinating field that investigates the effects of music on the human brain and how music can influence people's physical and mental health. Music activates several areas of the brain simultaneously, involving regions linked to emotions, as well as areas linked to motor and behavioral control besides neural networks linked to memories and language. The use of music in a music therapy context can also contribute to reducing anxiety and modulating mood, with a positive impact on cognitive development and improving motor skills, concentration, and memory, being a therapeutic tool for various medical conditions, from rehabilitation, including neurological disorders and neurodevelopmental disorders, to the treatment of dementia with positive results on executive functions and memories.

**Keywords:** Music; Neurosciences; Neurodevelopment; Music therapy; Cognition.

## INTRODUÇÃO

A música e seus constituintes, melodia, harmonia e ritmo, é uma linguagem universal que transcende fronteiras e culturas, com efeitos positivos na construção cultural da sociedade, tanto mais por meio do prazer estético e da educação, como das modificações da fisiologia e das estruturas de nosso cérebro (Jordão *et al.*, 2012, Patel, 2018; Vuust *et al.*, 2022). Neste sentido, o estudo da interação entre música e neurobiologia tem revelado fascinantes conexões entre a experiência musical e o cérebro humano com efeito direto nas funções cognitivas, comportamentais e emocionais repercutindo no desempenho acadêmico, na vida cotidiana, na cognição social, e também na saúde física e mental (Chen *et al.*, 2022). A audição musical envolve não apenas o córtex auditivo, mas também estruturas subcorticais, como o tronco encefálico e o sistema límbico, intrinsecamente relacionados com as emoções e memórias de curto e longo prazo, além das funções executivas (Blood & Zatorre, 2001; Koelsch *et al.*, 2006; Salimpoor *et al.*, 2013; Matthews *et al.*, 2020, Kasdan *et al.*, 2022). Estudos mostram que a audição e a percepção musical podem permanecer ativas mesmo em pacientes em estado de coma ou minimamente conscientes, devido à preservação de certas vias auditivas e estruturas subcorticais (Hu *et al.*, 2021). Neste sentido, a música tem sido utilizada como estímulo sensorial para a interação com esses pacientes, por vezes resultando em respostas neurológicas mensuráveis. A audição e a execução musical, na forma instrumental e vocal, também podem modular a liberação de alguns neurotransmissores importantes para as funções cerebrais, como dopamina e serotonina, influenciando o humor e a intensidade das nossas respostas emocionais (Salimpoor *et al.*, 2011, Salimpoor *et al.*, 2013).

Essas alterações neuroquímicas podem explicar, em parte, os efeitos terapêuticos da música em condições neurológicas. Ao longo da história, a música tem sido reconhecida como estímulo potencial para evocar e modular as emoções, influenciar comportamentos e até mesmo promover mudanças fisiológicas importantes para o tratamento e a reabilitação de funções importantes para a manutenção de uma vida saudável e produtiva. Essa relação intrínseca entre música, cérebro e comportamento tem sido objeto de estudos pioneiros no campo das neurociências (Patel *et al.*, 2018), desde estudos iniciais sobre a percepção musical, até investigações contemporâneas sobre como o cérebro processa e responde à música em geral e seus elementos básicos como ritmo e

melodia, com avanços notáveis para sua utilização clínica e educacional (Gordon *et al.*, 2015). As emoções evocadas pela música apresentam uma complexidade distinta das emoções primárias e naturais experimentadas no dia a dia.

A música pode desencadear uma gama variada de emoções estéticas que podem ser intensas e profundamente evocativas de situações diversas vivenciadas pelos seres humanos, mesmo sem a presença de um estímulo direto do ambiente. Enquanto as emoções naturais estão frequentemente ligadas a estímulos específicos e eventos da vida cotidiana, as emoções musicais são mais abstratas e subjetivas, variando significativamente dentre os ouvintes de acordo com a cultura e o ambiente em que a pessoa está envolvida (Reybrouck e Eerola, 2017). Por exemplo, a mesma peça musical pode evocar respostas emocionais diversas, positivas e negativas em pessoas diferentes, dependendo de suas experiências passadas, contextos culturais, preferências individuais e familiaridade com os estímulos sonoros e a música, ativando diferentes áreas cerebrais de acordo com a singularidade de tais emoções e memórias (Brattico *et al.*, 2013). A música pode gerar um espectro amplo de emoções, envolvendo alegria e tristeza, excitação ou relaxamento, além de sensações complexas que muitas vezes são difíceis de descrever apenas com palavras. Estudos como os conduzidos por Koelsch (2014) sobre os correlatos cerebrais das emoções musicais têm explorado as bases neurais dessas experiências, revelando como a música pode influenciar e modular nossas respostas emocionais de maneira única.

Países como Canadá, Estados Unidos, além de vários países europeus, têm estabelecido centros especializados dedicados à exploração da interação entre música, cérebro e emoções (Schlaug *et al.*, 2009). Vários núcleos de pesquisa se tornaram centros importantes para pesquisas avançadas, que vão desde o mapeamento das áreas cerebrais envolvidas na percepção musical, importantes para a reabilitação neurológica (Merchant *et al.*, 2017), até estudos sobre como a música pode modular estados fisiológicos e mentais, como por exemplo no tratamento de ansiedade e depressão. A música também exerce um importante controle sobre nossas respostas autonômicas, influenciando funções como a frequência cardíaca e respiratória, atuando na liberação de hormônios ligados ao estresse e ao prazer (Salimpoor *et al.*, 2011). Por meio de técnicas avançadas de neuroimagem, pesquisadores identificaram áreas cerebrais corticais e subcorticais cruciais para a neurobiologia da música, como os gânglios da base, o cerebelo, os córtex auditivos, a amígdala e o sistema límbico em áreas relacionadas ao sistema de recompensa (Quinci *et al.*, 2022, Kasdan *et al.*, 2022). Uma revisão realizada por Witte *et al.* (2020) analisou vários estudos com medidas fisiológicas e psicológicas relacionadas a estresse e ansiedade. Os resultados mostraram que a utilização da música em intervenções clínicas obteve resultados positivos na redução do estresse em ambas medidas, com ênfase para a os efeitos fisiológicos

positivos na frequência cardíaca e na pressão arterial. Portanto, compreender como a música molda e modula nossa experiência sensorial, emocional e comportamental, não apenas enriquece nosso conhecimento sobre a complexidade do cérebro humano, como também oferece reflexões valiosas para sua aplicação multidisciplinar.

A música é mais abrangente que apenas um estímulo auditivo, ela é uma ferramenta multissêmica e multifacetada que desencadeia um conjunto de respostas comportamentais, psicofisiológicas e funcionais em nosso sistema nervoso, moldando nossa experiência e alterando a percepção do mundo à nossa volta (Schlaug, 2009). A música, além de ser uma expressão artística, desempenha um papel crucial como um estímulo sincronizador temporal das informações sonoras no cérebro humano (Large & Jones, 1999). A música é profundamente baseada no tempo, tanto em sua estrutura quanto em sua percepção. Ela é construída por fluxos rítmicos, batidas e métricas, além de andamentos que moldam a forma como percebemos e respondemos a experiências temporais. A música influencia nossa percepção do tempo. Ela pode nos fazer perceber que o tempo está passando mais rápido ou mais devagar, dependendo da composição, do contexto, da interação e do estado emocional do ouvinte (Droit-Volet *et al.*, 2013). Os elementos rítmicos e melódicos são organizados em padrões que criam uma sensação de fluxo temporal. Por exemplo, um ritmo acelerado pode nos fazer sentir uma passagem mais rápida do tempo, enquanto um andamento mais lento pode prolongar a sensação temporal. Além disso, a música pode ser uma forma de registrar o tempo (Rajendran *et al.*, 2017). Muitos estilos musicais estão associados a períodos específicos da história ou da cultura, e algumas músicas podem evocar memórias temporais específicas para os ouvintes.

A música, portanto, não apenas é moldada pelo tempo, mas também tem o poder de moldar nossa experiência temporal, influenciando nossa percepção, nossas emoções e nossas memórias associadas a diferentes momentos (Brattico *et al.*, 2013; Droit-Volet *et al.*, 2013). Estudos sobre percepção temporal da música revelam como nosso sistema auditivo é sensível a nuances de tempo, com técnicas sensório-motoras como nas tarefas de "finger tapping" (tocar/bater com os dedos), utilizadas para investigar a percepção e produção de ritmos sincronizados com ou sem estímulos externos (Repp, 2005; Janata, 2012; Carrer *et al.*, 2023). Em um estudo recente realizado por Carrer *et al.* (2023), a música foi utilizada para avaliar as habilidades de sincronização sensório-motora de crianças na idade escolar. Na comparação com um estímulo de metrônomo, foi possível verificar o desenvolvimento acentuado dessas habilidades ao longo da infância (6 a 11 anos) com menor variabilidade na música e maior acurácia em ambos os estímulos após os oito anos de idade onde o desempenho foi mais próximo da idade adulta.

Esses resultados mostram que as habilidades rítmicas se desenvolvem ao longo da infância e se consolidam por volta dos onze anos de idade, podendo ser utilizadas como técnicas de treinamento dessas habilidades para avaliar aspectos do neurodesenvolvimento relacionados ao processamento temporal e às habilidades de sincronização sensório-motora também ligadas ao aprendizado.

Em contexto escolar, Schellenberg (2005) investigou os efeitos do treinamento musical sistemático em crianças, mostrando que aulas musicais regulares podem melhorar algumas habilidades cognitivas como atenção, raciocínio espacial e habilidades matemáticas, embora a causalidade direta ainda precise ser mais bem compreendida. Hyde *et al.* (2009) mostraram que adultos que começaram a tocar um instrumento na infância exibiam mudanças estruturais duradouras no cérebro, mesmo sem praticar música ativamente na idade adulta.

Esses estudos destacam as mudanças estruturais e funcionais associadas à prática musical, bem como a educação musical com efeitos específicos no cérebro e na cognição. Segundo Schlaug (2015), várias pesquisas mostram que a prática musical por longo tempo está associada às atividades motoras em geral, ao controle do comportamento e da cognição, com a ativação de múltiplas regiões cerebrais em redes intrínsecas e interconectadas, promovendo a expansão das habilidades sensório-motoras e cognitivas. Assim, a plasticidade dos sistemas envolvidos no treinamento musical, como resultado do treino continuado, sugere que as atividades musicais em geral (ex.: canto individual ou em grupo; tocar instrumentos musicais) podem ser uma forma de intervenção promissora para o tratamento de diversas condições neurológicas. Essas intervenções geralmente focam no aprendizado ou no reaprendizado de diversas associações entre as funções auditivas e motoras presentes no comportamento como a fala e a sincronização sensório-motora necessárias para o desenvolvimento e o aprendizado, além do controle inibitório (Hennessy, 2019).

Um estudo teórico sobre a musicalidade humana em uma abordagem multidisciplinar realizado por Honing *et al.* (2015) coloca a necessidade de compreender os elementos musicais e a cultura musical dentro de um espectro que envolve vários campos científicos da cognição e da biologia. Os autores descrevem a música e suas causas biológicas e culturais como ponto de partida para a compreensão dos efeitos da cultura musical na fisiologia e no comportamento humano. Esses elementos seriam imprescindíveis para a utilização da música e seus elementos na educação e na clínica, passando pela criatividade e pela evolução da música ao longo da história humana. Nesse sentido, Reybrouck e Eerola (2017), em uma perspectiva evolutiva, afirmam que a música apresenta aspectos teóricos e psicobiológicos importantes para a compreensão da música em seu arcabouço de símbolos e significados por meio das emoções. A maneira como extraímos significado dos sons musicais também é objeto de estudos de neuroimagem especializados no

processamento e organização desses estímulos, mas os mesmos fenômenos estão também sob a influência da cultura, moldando o pensamento teórico como o empírico, no trajeto entre nossa percepção fisiológica e psíquica do fenômeno musical, alterando nossa fisiologia e promovendo diversos efeitos secundários no sistema cognitivo e nas emoções. Assim, é importante destacar que todas as atividades que envolvem música passam por filtros dentro na natureza dos sons e ritmos até nossa familiaridade e cultura musical. Isto leva ao aprofundamento dos temas estudados nas diversas áreas que envolvem a audição e o fazer musical, tanto no campo da educação quanto nas suas aplicações clínicas.

Dentre as técnicas tradicionais de aplicação dos sons e da música na clínica, novas abordagens surgiram e se desenvolvem ao longo das últimas décadas, por exemplo, a estimulação com frequências sonoras por meio de ritmos binaurais (*binaural beat stimulation*). A estimulação por meio de *binaural beats* têm sido objeto de interesse desde as primeiras descrições por Robert Monroe, conhecido por popularizar seu potencial no campo do desenvolvimento pessoal e expansão da consciência (Monroe, 1971). Esses fenômenos auditivos, resultantes da apresentação de diferentes frequências sonoras em cada ouvido, têm sido estudados por seus potenciais influências na modulação dos ritmos cerebrais.

Pesquisas atuais exploram como essas batidas podem afetar estados mentais, como relaxamento, foco ou até mesmo a indução de estados meditativos (Chaieb *et al.*, 2015). Além disso, a estimulação binaural tem sido estudada em relação à sua capacidade de influenciar os ritmos elétricos cerebrais (Oster, 1973). Pesquisas mostram que essa estimulação pode modificar as frequências dos ritmos cerebrais, como os ritmos alfa, beta, delta e gama (Wahbeh *et al.*, 2007) e a aplicação dessas técnicas tem sido explorada não apenas na modulação dos ritmos cerebrais, mas também em suas repercussões fisiológicas, psicológicas e comportamentais. Essas descobertas têm implicações profundas, especialmente na abordagem de condições disfuncionais do cérebro, como epilepsias, depressão, ansiedade, transtornos do neurodesenvolvimento e demências. Estudos mostram um potencial promissor no uso dessas técnicas como uma forma não invasiva de modulação neural (Tang *et al.*, 2009). Por exemplo, a estimulação binaural tem sido investigada como uma possível terapia complementar para reduzir a frequência de crises epiléticas (Monderer *et al.*, 2002). Evidências emergentes sugerem que essas técnicas podem oferecer benefícios terapêuticos na gestão de transtornos neuropsiquiátricos, como ansiedade e depressão (León-Pizarro *et al.*, 2007).

Houve uma evolução na compreensão da estimulação binaural (*binaural beats stimulation*), levando à emergência de campos multidisciplinares que vão além da visão hedonista da música. Alguns estudos exploraram sua aplicação na redução do estresse, ansiedade, dor crônica,

distúrbios do sono e até mesmo na recuperação de lesões cerebrais (Thoma *et al.*, 2013). Assim, essa mudança de paradigma transformou alguns elementos musicais em uma ferramenta terapêutica valiosa, integrada com abordagens médicas e terapias complementares. A estimulação rítmica por meio de batidas de frequências sonoras diferentes aplicadas de forma monaural (mesma frequência) ou binaural (duas frequências diferentes alternadas) também foi utilizada para a modulação das ondas cerebrais com o objetivo de melhorar o funcionamento das funções cognitivas ligadas à regulação emocional e melhora da atenção. Esta técnica foi avaliada utilizando a frequência de 40Hz como base simultaneamente à realização de tarefas de atenção (Flanker test) avaliada por meio de EEG (eletrencefalograma) no estudo de Engelbregt *et al.* (2021) e mostrou efeitos positivos com o aumento da atenção nas tarefas durante a estimulação binaural. Um estudo realizado por Lee *et al.* (2022) mostrou que a utilização da estimulação autonômica meridiana sensorial (ASMR) e da estimulação binaural com ondas sonoras em frequências específicas (8Hz; 5Hz) somadas à música da preferência dos participantes mostrou melhora dos sintomas de estresse, ansiedade e insônia ao longo de três semanas de tratamento. Mas a estimulação por meio da ASMR foi mais efetiva no aumento da potência das ondas cerebrais beta ligadas aos estados de alerta.

Al-shargie *et al.* (2022) mostraram, por meio de técnicas de neuroimagem (fNIRS), que a utilização da estimulação por ritmos binaurais foi eficiente na redução dos sintomas de estresse, com aumento significativo nos níveis de ativação inter-hemisférica (direito-esquerdo) principalmente no córtex pré-frontal dorso-lateral (DLPFC) com aumento do estado de vigília, pois inibir respostas comportamentais inadequadas em vários contextos da vida é uma característica dos processos decisivos e do controle executivo do comportamento (funções executivas). Tanto a música como a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) influenciam as atividades do córtex pré-frontal, com impacto direto também nos estados emocionais relacionados às funções executivas. Nesse sentido, Mansouri *et al.* (2017) realizaram um estudo para verificar os efeitos da interação entre a estimulação musical e estimulação transcraniana de corrente contínua na modulação de respostas inibitórias por meio de medidas como erros realizados em tarefas que exigem o controle inibitório de respostas comportamentais (erros decisórios). Os autores mostraram que músicas com ritmo rápido, ao contrário de músicas com ritmo lento ou ruídos, influenciam significativamente o aprendizado e a implementação do controle inibitório. Além disso, os efeitos da estimulação transcraniana no córtex pré-frontal interagiram com a música em ritmo rápido e alteraram os efeitos do desempenho das funções executivas detectados pela medição das respostas autonômicas e de estado de alerta. Esses efeitos foram demonstrados durante a exposição das demandas da tarefa e do treino, diminuindo o estado de alerta nas respostas com

demandas de resposta decisória, mas a música com ritmo rápido melhorou o desempenho nos processos de aprendizado, indicando que alterações nas respostas emocionais e de alerta podem explicar os efeitos de interação entre os estímulos musicais e de estimulação transcraniana de corrente contínua.

Em um estudo recente, Sabet *et al.* (2023) aplicaram estimulação com frequências binaurais na gama de 16Hz (incorporadas em estímulos sonoros de 400 e 416Hz) para verificar seus efeitos na atenção sustentada auditiva e visual de pessoas jovens (Idade média=27 anos) com desenvolvimento típico. Os resultados mostraram um efeito positivo da estimulação binaural na atenção sustentada auditiva, mas não houve efeitos significantes no desempenho em tarefas de atenção visual sustentada, apontando para uma distinção entre as modalidades mais indicadas para a aplicação mais eficiente dessa técnica. Além disso, em uma abordagem psicofísica, as propriedades vibroacústicas dos sons senoidais (ondas sonoras puras) e de música associadas também é estudada e aplicada em contexto musicoterapêutico com técnicas específicas dependendo dos objetivos clínicos, por exemplo, no relaxamento físico (traumas, rigidez, espasticidade), em acidentes que comprometem as habilidades motoras: reabilitação de funções psicomotoras no caso de Acidente Vascular Cerebral com hemiparesia, afasias e paraplegias.

Um estudo interessante de Palmer e Ojala (2022) utilizou as vibrações físicas de sons e música, além das propriedades psicofísicas dos instrumentos musicais em um tratamento com pacientes acometidos com deficiência auditiva grave. Os autores utilizaram técnicas sonoras vibracionais e táteis para desenvolver e melhorar as habilidades auditivas corporais e assim realizar as sessões de musicoterapia com o objetivo de melhorar a percepção auditiva por um processo de construção da identidade por meio da percepção corporal individual, da autoconfiança e bem estar ao longo do processo terapêutico.

Em outro estudo (Carrer *et al.*, 2008), com uma pessoa com osteoartrose, as propriedades psicofísicas dos sons senoidais (ondas sonoras puras) e de música ansiolítica (relaxante) foram aplicadas de forma conjunta para o alívio da dor crônica em um protocolo chamado 'musicoterapia vibroacústica'. Os resultados mostraram diminuição significativa dos níveis de dor registrados em uma escala tipo Likert ao longo de dez sessões de quarenta minutos utilizando ondas sonoras de baixa frequência (14 a 48 Hz) somadas à música e aplicadas por meio de uma cama vibroacústica com alto-falantes acoplados à sua estrutura (Carrer *et al.*, 2008). As técnicas vibroacústicas tem sido utilizadas também em sintomas de rigidez e espasticidade, por exemplo, no trabalho de Lira (Lira, 2010) utilizando musicoterapia criativa (canto: canções da preferência das pacientes) somadas à aplicação de ondas sonoras de baixa frequência com pacientes acometidas com Síndrome de Rett (doença neurológica incapacitante de caráter degenerativo) em uma cadeira

vibroacústica para o relaxamento e a diminuição da rigidez muscular. Contudo, mais estudos são necessários para consolidar essas diferentes práticas e abordagens clínicas por meio do aprofundamento das pesquisas em neurociências da música, sua importância para a clínica e a pesquisa e seu impacto para o desenvolvimento de novos conhecimentos.

## **INTELIGÊNCIA MUSICAL E TRANSTORNO DO ESPECTRO AUTISTA (TEA)**

A inteligência musical pode ser uma das áreas de destaque em pacientes com Transtorno do Espectro Autista. Embora indivíduos com TEA possam apresentar deficiências em outras áreas, como linguagem e interação social, muitos demonstram habilidades musicais excepcionais (Jaschke *et al.*, 2018). A música pode ser um meio de expressão e comunicação significativo para esses pacientes, oferecendo uma saída para suas habilidades singulares. Assim, a música vem sendo reconhecida como uma ferramenta poderosa na facilitação da comunicação em pacientes com Transtorno do Espectro Autista (TEA) verbais e não verbais. Estudos mostram que a música pode ajudar na expressão emocional, no desenvolvimento da linguagem e na interação social de indivíduos com TEA, oferecendo uma forma alternativa de comunicação (Bieleninik *et al.*, 2017).

Em um estudo realizado por Fauziah *et al.* (2022) em crianças com autismo, os autores utilizaram técnicas rítmicas com canções da preferência dos participantes em um tratamento focado nas habilidades de atenção, concentração e memória de curto prazo. Os resultados mostraram efeitos positivos do tratamento por meio de uma escala de observação comportamental sobre as habilidades específicas de controle motor, atenção às atividades com a utilização adequada das instruções com diferença significativa entre as medidas avaliadas antes e depois das atividades.

Os autores concluíram que a terapia baseada em ritmos ajudou a melhorar as habilidades cognitivas dos pacientes em um ambiente escolar, com o aprendizado de música e percussão focando nos elementos musicais do ritmo, da melodia e das intensidades por meio do treinamento ao longo da intervenção, com impacto positivo nas funções cognitivas, e também nas relações sociais e familiares dos pacientes.

## **MÚSICA E TRANSTORNOS DO NEURODESENVOLVIMENTO**

A música tem sido objeto de estudo em relação aos seus efeitos terapêuticos em condições como TDAH (Transtorno de Déficit de Atenção e Hiperatividade) e dislexia. No TDAH, estudos como o de Bugos e Mostafa (2011) analisaram os efeitos da performance musical nas atitudes de estudantes com TDAH. Eles observaram melhorias no comportamento e na atenção desses

estudantes após participarem de atividades musicais. Quanto à dislexia, algumas pesquisas investigaram a relação entre a dislexia e a percepção temporal na música. O estudo examinou como os déficits de temporização podem estar associados à dislexia e como a intervenção musical direcionada para melhorar a precisão temporal pode beneficiar indivíduos com essa condição (Overy, 2003; Flaughacco *et al.*, 2015). Um estudo realizado por Carrer (2015) investigou o processamento temporal de crianças com TDAH, elas realizaram tarefas de sincronização rítmica com música por meio de toque de dedos (finger tapping) com desempenho similar a crianças com desenvolvimento típico com estímulos musicais, além de apresentarem um tempo espontâneo dentro dos padrões para a idade (120 BPM). As crianças com TDAH apresentaram desempenho inferior somente parcial tarefas onde havia mudança de tempo rápido-lento (180-60BPM) dentro da música.

Em um estudo recente, Zhu (2022) aplicou musicoterapia combinada com uma intervenção cognitivo comportamental em crianças com TDAH, as medidas avaliadas relativas à atenção e concentração nos testes utilizados (ex.: Matriz Raven; Conners Child Behavior) melhoraram significativamente ao longo do tratamento em comparação com o grupo controle. Esses estudos indicam que a música pode ter efeitos positivos na atenção, no comportamento e nas habilidades temporais em indivíduos com TDAH e dislexia. No entanto, é importante ressaltar que mais pesquisas são necessárias para compreender completamente a extensão e os mecanismos específicos desses efeitos. A aplicação da musicoterapia criativa e de audição musical também mostrou resultados fisiológicos e psicológicos positivos no tratamento da depressão em crianças e adolescentes com TDAH, tanto por meio do aumento da dopamina e serotonina, como da diminuição dos níveis de cortisol. (Park *et al.*, 2022).

Em um estudo de revisão realizado por Chowdhury e Gulati (2022) sobre os efeitos da musicoterapia em crianças com transtornos do neurodesenvolvimento (ex.: TEA, paralisia cerebral, dislexia e TDAH), os autores comentam a dificuldade de organizar e avaliar os estudos devido à grande variedade de técnicas e instrumentos utilizados nas intervenções, mas a análise encontrou resultados positivos com aumento significativo de funções ligadas às habilidades sociais, compreensão de textos, participação em atividades sociais em grupo, melhora das habilidades sensório-motoras e respostas emocionais nas tarefas acadêmicas como compreensão na leitura, reconhecimento facial de emoções, diminuição de movimentos estereotipados e reações negativas às atividades em grupo (Geretsegger *et al.*, 2014).

Também foram encontradas melhoras na conectividade funcional das regiões cerebrais ligadas às funções executivas, contato visual e auto-regulação emocional e comportamental. Um estudo de revisão com trinta e nove pesquisas realizado por Mayer-Benarous *et al.* (2021) revelou

dois tipos de musicoterapia aplicados no tratamento de crianças com autismo e outros transtornos do neurodesenvolvimento. A musicoterapia educacional mostrou efeitos positivos no tratamento do autismo, principalmente na participação social. A musicoterapia improvisacional teve efeitos positivos na maioria das condições estudadas, autismo, dislexia e TDAH. Mas a musicoterapia educacional foi particularmente positiva para crianças com dislexia. A utilização da música no tratamento de dislexia é investigada também por Habib *et al.* (2016) mostrando a aplicação de um treinamento musical focando nas dificuldades das crianças com dislexia por meio de dois estudos.

O primeiro estudo revelou que dezoito horas de ensino musical utilizando exercícios musicais variados durante um curto período de tempo ao longo de três dias. Os resultados mostraram melhora na percepção de categorias e na percepção de componentes temporais da fala. O segundo estudo aplicou o treinamento musical ao longo de três semanas. Os resultados mostraram melhoras adicionais na atenção auditiva, na consciência fonológica (fusão silábica), habilidades de leitura e repetição de pseudopalavras. As melhoras persistiram em uma análise seis meses após o treinamento, levando à conclusão de que o treinamento musical pode ter efeitos positivos para essa população, podendo ser utilizada e sistematizada de forma multidisciplinar no tratamento de crianças com dislexia. No entanto, é importante ressaltar que mais pesquisas são necessárias para compreender completamente a extensão e os mecanismos específicos desses efeitos.

## CÉREBRO DE MÚSICOS E EFEITO MOZART

Mudanças estruturais no cérebro entre músicos e não músicos têm sido um foco de estudo fascinante. A prática musical está associada a alterações significativas na estrutura cerebral. Por exemplo, o estudo de Gaser & Schlaug (2003) mostrou que músicos têm um aumento na massa cinzenta em regiões relacionadas à percepção e produção musical, como o córtex auditivo, motor e áreas sensório-motoras como efeito das atividades musicais e da audição musical. Assim, o efeito Mozart, conhecido como o suposto impacto positivo da audição de músicas de Mozart na cognição, inicialmente explorado por Rauscher *et al.* (1993) e Rauscher *et al.* (1997), sugere uma melhoria temporária em tarefas espaciais. No entanto, estudos subsequentes, como o de Pietschnig *et al.* (2010), questionaram a replicabilidade e a generalização desse efeito em outras áreas cognitivas. Lin *et al.* (2011) também realizaram um estudo para testar os efeitos de longo prazo da audição da sonata para dois pianos em ré maior (Mozart K.448) na diminuição dos episódios epiléticos em crianças com diagnóstico de epilepsia idiopática. O estudo incluiu a audição da Sonata K.448 por oito minutos de forma diária ao longo de seis meses, com a avaliação por meio de EEG. Os resultados mostraram uma diminuição desses episódios ao longo de seis meses de forma

longitudinal, avaliados após um, dois e seis meses de tratamento. Os autores concluíram que a audição de Mozart reduziu os episódios epiléticos de forma significativa, indicando a utilização desse estímulo para crianças com epilepsia idiopática, mas não houve diminuição dos episódios no grupo de crianças com episódios epiléticos na região occipital, nem em crianças que apresentavam atraso no neurodesenvolvimento.

Recentemente, uma revisão sobre o "Efeito Mozart" realizada por Oberleiter e Pietschnig (2023), alerta para os vieses e a sensibilidade das pesquisas. Nesses estudos não foi verificado um efeito consistente da audição da sonata K.448 de Mozart, dentre outras músicas, na melhora dos sintomas de epilepsia, sendo que dos oito estudos, cinco foram retirados da análise final por falta de dados e medidas insuficientes fornecidas para a aferição dos resultados obtidos. O motivo alegado pelos revisores foi a falta de padrões evidenciais, pouca consistência e resultados inflados na conclusão das pesquisas. A falta de medidas de controle, como a comparação com outros tipos e gêneros musicais impossibilita concluir que os resultados seriam diferentes para outros contextos utilizando músicas da preferência dos pacientes, por exemplo, ou a comparação com grupos controle com diferentes tipos de estímulos e medidas evidenciais. Portanto, mais estudos são necessários para elucidar as possíveis evidências desses efeitos com amostras, estímulos e estudos metodologicamente mais fidedignos.

## Música e Sinestesia

A sinestesia é um fenômeno fascinante em que estímulos ambientais em um sentido desencadeiam experiências sensoriais em outro sentidos como a visão e o tato, de forma involuntária e automática. Na música, a sinestesia pode se manifestar quando notas musicais, timbres ou até mesmo melodias evocam cores, formas, texturas ou sensações táteis para aqueles que experimentam essa condição. Alguns estudos interessantes exploram a relação entre música e sinestesia, como o trabalho de Loui *et al.* (2012), que examinou a prevalência da sinestesia em músicos profissionais e amadores, sugerindo uma maior incidência dessa condição em músicos comparados a não músicos.

Em outro estudo relevante, Jancke *et al.* (2012), investigaram as diferenças de conectividade cerebral entre músicos sinestetas e músicos não sinestetas, buscando compreender as bases neurais subjacentes a essa experiência sensorial única. A sinestesia pode adicionar camadas adicionais de complexidade e riqueza à experiência musical, permitindo que aqueles que a vivenciam tenham uma compreensão e uma apreciação única da música, envolvendo múltiplos sentidos de maneira sinérgica e interligada. Sinestésicos notáveis, como Kandinsky (Harrison,

2001), Scriabin, Debussy (Rimland & Rimland, 2000) e Victor Hugo (Shulman, 2012; Reynolds, 2015), oferecem uma fascinante janela para entender como a sinestesia pode ampliar o campo da percepção sensorial. Por exemplo, Kandinsky, um pintor sinestésico, associava cores a tons musicais específicos, acreditando que a arte poderia evocar uma resposta emocional profunda pela intersecção dos sentidos. O compositor russo Scriabin, associava cores e escalas musicais em suas composições, buscando criar uma sinfonia sinestésica que envolvesse múltiplos sentidos simultaneamente. Debussy, conhecido por suas composições impressionistas, buscava através de novas harmonias estimular imagens visuais e sensoriais da natureza por meio da música. A interação entre esses artistas e a sinestesia oferece uma perspectiva única sobre a percepção humana, desafiando as fronteiras entre os sentidos e ressaltando a riqueza e complexidade da experiência sensorial. Além disso, estudar cientificamente a sinestesia pode oferecer valiosas estratégias educacionais. Por exemplo, entender como os sinestésicos processam informações sensoriais pode informar abordagens educacionais mais integradas, onde múltiplos sentidos são engajados para facilitar a aprendizagem. Isso poderia incluir métodos multimodais de ensino que incorporam música, cores e outras modalidades sensoriais para enriquecer a experiência educacional, além de estudos incluindo experiências sinestésicas em pessoas com epilepsia (Sacks, 2007).

Em um estudo de revisão sobre sinestesia e percepção musical, Bragança *et al.* (2015) propõem a existência de um nível inconsciente de sinestesia presente também em pessoas não-sinestetas, por meio de exemplos também no campo visual, os autores apresentam o que eles chamam de sinestesia latente. Esta sinestesia latente, sem a presença de manifestações sensoriais explícitas de forma definida, funcional, poderia auxiliar a cognição na construção de associações abstratas entre diferentes campos da percepção. Sendo que o significado musical poderia então ser construído em grande parte por processos sinestésicos, onde as associações sensoriais dos sons musicais e não musicais poderiam ativar várias memórias (episódica, autobiográfica) por meio de várias imagens e diferentes estados emocionais (Janata *et al.*, 2009). A compreensão científica da sinestesia também pode lançar luz sobre a relação mente/cérebro e consciência em casos clínicos, como por exemplo na paralisia cerebral (Neville e Lawson, 2013).

Estudos, como os de Ward (2013) e Cytowic (2009), exploram como a sinestesia pode remodelar nossa compreensão da percepção e consciência, destacando a complexidade e a plasticidade do cérebro humano e suas conexões sensoriais intrincadas. A sinestesia oferece uma perspectiva ampla sobre a intersecção dos sentidos, impactando a compreensão da percepção e da consciência. Ward (2013) e Rouw & Scholte (2016) exploraram como a sinestesia pode remodelar a maneira como percebemos o mundo ao nosso redor, destacando a complexidade e a plasticidade

do cérebro humano. Ao revelar a sobreposição e a interação entre diferentes modalidades sensoriais, a sinestesia desafia as noções tradicionais de percepção unimodal, sugerindo uma organização mais interconectada e integrada do processamento sensorial. Essa compreensão mais profunda da interconexão entre os sentidos abre um campo promissor para o estudo da relação entre funções cerebrais, percepção e emoções.

Pesquisas realizadas por Cytowic e Eagleman (2009) também exploram como a sinestesia pode fornecer mais entendimentos sobre o desenvolvimento e a plasticidade cerebral, mecanismos subjacentes à percepção. A sinestesia, ao desafiar as fronteiras tradicionais da percepção sensorial, oferece um terreno fértil para compreender a complexidade da percepção humana e como nossas experiências sensoriais moldam não apenas a forma como vemos o mundo, mas também como nos relacionamos emocionalmente com o ambiente em torno de nossa subjetividade humana.

## Música nas Demências

A música tem demonstrado um impacto importante no tratamento das demências, especialmente na doença de Alzheimer. Estudos, como os de Baird *et al.* (2017), destacam como a música desempenha um papel significativo na estimulação do sistema cognitivo e emocional de pacientes com demência. Pesquisas como as de Van de Winckel *et al.* (2004) e Raglio *et al.* (2008), mostraram que intervenções musicais podem melhorar a cognição, reduzir comportamentos problemáticos e até mesmo aumentar a interação social em pacientes com demência. Holmes *et al.* (2006) observaram que a música pode aliviar a apatia em pacientes com demência, enquanto estudos de Särkämö *et al.* (2008) indicam que a música pode contribuir para a recuperação cognitiva e emocional após eventos cerebrais.

Esses estudos fornecem evidências robustas sobre os benefícios da música na qualidade de vida, bem-estar emocional e cognitivo de pessoas com demência, oferecendo uma abordagem terapêutica complementar e eficaz para o manejo e a reabilitação dessas condições. (Baird *et al.*, 2017), ativando áreas relacionadas às emoções, memórias e experiências pessoais, proporcionando conforto psicológico e alívio de sintomas comportamentais (Van de Winckel *et al.*, 2004) por meio ativação neural por meio da audição e da execução musical ativando diversas áreas cerebrais, incluindo o córtex auditivo e regiões associadas às emoções, linguagem e processamento cognitivo (Särkämö *et al.*, 2008). Nesse sentido, a interação entre a atividade musical e a plasticidade neural somada às técnicas de neuromodulação não invasiva também tem sido objeto de estudo em diversas pesquisas clínicas. A plasticidade neural se refere à capacidade

do cérebro de se adaptar e mudar ao longo do tempo em resposta a novos estímulos ou experiências.

A música, devido à sua natureza complexa com o envolvimento de múltiplas áreas do cérebro, demonstrou influenciar a plasticidade neural de várias maneiras. Estudos realizados por Altenmüller *et al.* (2009), exploraram como a prática musical pode levar a mudanças estruturais no cérebro, como o aumento de volume em determinadas áreas corticais em músicos profissionais. Quanto à neuromodulação não invasiva, como a estimulação transcraniana por corrente contínua (ETCC) ou estimulação magnética transcraniana (TMS), essas técnicas têm sido investigadas em relação aos efeitos na plasticidade neural e nas funções cognitivas. Estudos como o de Tervaniemi e Brattico (2004) examinaram os efeitos da estimulação cortical na percepção e no processamento musical.

Pesquisas recentes também têm explorado o potencial da combinação entre neuromodulação não invasiva e música no tratamento de condições neurológicas. Por exemplo, Raglio *et al.* (2016) examinaram os efeitos positivos da música combinada com ETCC na reabilitação de pacientes com demência. Essa interseção entre música, plasticidade neural e neuromodulação não invasiva oferece algumas perspectivas para a compreensão de como a música pode ser utilizada como ferramenta terapêutica, especialmente quando combinada com técnicas que modulam a atividade cerebral para promover mudanças positivas em condições neurológicas. A música também pode ser utilizada como um meio de estimulação à interação para a cognição social, promovendo a comunicação entre pacientes, cuidadores e terapeutas (Raglio *et al.*, 2008). Esses mecanismos colaboram para melhorar a qualidade de vida, reduzir a ansiedade e a apatia, demonstrando os benefícios multifacetados da música como uma ferramenta terapêutica.

De modo interdisciplinar, a musicoterapia aliada à fisioterapia pode contribuir no tratamento e na reabilitação de pacientes com essas condições neurológicas promovendo a neuroplasticidade e assim obter ganhos funcionais dos indivíduos para o retorno às atividades da vida diária (ex.: Parkinson, Alzheimer, AVC), dentre outras aplicações (Silva *et al.*, 2022). Um estudo realizado por Moreira *et al.* (2023) mostrou efeitos positivos da utilização da música em musicoterapia no tratamento de pacientes com Alzheimer e demência. O foco do estudo foi nas funções de memória episódica, memória autobiográfica e memória operacional. Os autores notaram melhora significativa principalmente nos testes de memória episódica (ex.: teste de memória de figuras, melodias e frases). Os autores indicam a utilização da musicoterapia como intervenção promissora para as condições de Alzheimer e demência. Em uma revisão com mais de cinquenta estudos publicados sobre os efeitos da musicoterapia aplicada à doença de Parkinson, Sotomayor *et al.*

(2021), verificaram efeitos positivos, porém com grande diversidade nas evidências distribuídas em várias esferas, por exemplo, os pacientes mencionados nos estudos participaram em diferentes programas e protocolos de aplicação da música no tratamento. Alguns estudos focaram nos componentes motores da doença, acessados por meio da audição musical, da resposta rítmica corporal e estimulação rítmica auditiva para o treino dos movimentos. Outros estudos confirmaram efeitos positivos na comunicação, na deglutição, respiração, nos aspectos emocionais por meio do canto individual ou em grupos e na melhora da qualidade de vida. Os autores concluíram que os programas de musicoterapia podem melhorar vários aspectos da vida de pessoas com Doença de Parkinson e demências, revelando um futuro promissor para a aplicação da música no tratamento dessas condições neurológicas.

## Música na Era Digital

Na era digital, a música continua a desempenhar um papel crucial em nossas vidas, trazendo diversos benefícios como o acesso facilitado, uma vez que proporciona acesso instantâneo a uma ampla variedade de músicas por meio de aplicativos e de plataformas de *streaming*, ampliando os horizontes musicais das pessoas e promovendo bem estar mental, uma vez que a música pode atuar como uma ferramenta de relaxamento e redução do estresse, oferecendo alívio emocional em um mundo cada vez mais agitado pela conectividade social, já que as plataformas digitais permitem que as pessoas compartilhem gostos musicais, descubram novos gêneros musicais e novas músicas, além de se conectar por meio de interesses musicais comuns, aumentando a conectividade social, a criatividade e a expressão.

As ferramentas digitais também facilitam a criação e a produção musical, permitindo que aspirantes a músicos explorem sua criatividade e expressem suas emoções por meio da música digital e eletrônica com seus diversos estilos e funções sociais. Além do mais, essas ferramentas podem facilitar o aprendizado e a educação musical com acesso a recursos digitais que trazem oportunidades de melhorar o aprendizado musical, permitindo que as pessoas estudem teoria musical, aprendam a tocar instrumentos ou compreendam os elementos musicais de forma mais acessível, com entretenimento adaptável, uma vez que a música digital se adapta a diferentes contextos, oferecendo trilhas sonoras personalizadas para diferentes atividades, desde exercícios físicos até a facilitação para o trabalho (*lo-fi electronic music*).

A música também pode ser uma força importante para combater a alienação às telas, pois pode ser utilizada como uma forma de expressão pessoal e um meio de conexão comunitária. Na era das telas luminosas, a música persiste como uma fonte de consolo, inspiração e conexão

humana. Ela é a dança dos algoritmos e a arte que transcende o código, lembrando-nos que, mesmo na era digital, a música continua a ecoar a beleza da experiência humana e nos afasta da alienação pois nos conecta com nossa subjetividade e transcendência, ambas intrínsecas à natureza humana.

A tecnologia também tem sido uma grande ferramenta para a aplicação da musicoterapia durante e após a pandemia de COVID-19, consolidando-se como uma forma de levar o tratamento a pessoas e lugares onde antes não seria possível devido a limitações de espaço e tempo. Casellas *et al.* (2022) apresentam uma revisão de trabalhos publicados recentemente apontando para os efeitos positivos da utilização dos meios tecnológicos (telemedicina) no atendimento de diversas condições clínicas tanto na audição musical terapêutica, quanto na prática de cantar em grupos com técnicas de reprodução musical e canto coral visando a melhora de aspectos como: relaxamento, estado de humor, auto-percepção, diminuição da ansiedade, qualidade de vida e bem estar, regulação emocional, diminuição da dor e melhora do sono – insônia.

Os meios apresentados nos estudos mostram a realização de sessões de musicoterapia de forma síncrona, audição musical não síncrona, além do seguimento presencial e telefônico após as sessões ou em períodos de tratamento mais longos utilizando equipamentos como: telefone, encontros síncronos por meio de aplicativos no computador e no telefone celular, videoconferências, fones de ouvido em sincronia com os pacientes e/ou vídeos pré-gravados com material a ser utilizado em casa, além do uso de *Tablets* e plataformas de realidade virtual. Segundo Marciano *et al.* (2021), as tecnologias de informação e sua utilização cada vez mais contínua nos vários contextos da vida moderna, tanto na saúde quanto na educação e nas relações sociais (ex.: jogos, música, assuntos gerais e diversos no lazer e no aprendizado). Há três pontos importantes que as pesquisas com neuroimagem indicam sobre a qualidade e o tempo de utilização de novas tecnologias nos vários campos, por exemplo, o consumo de mídia por longos períodos de tempo em frente às telas de computadores e telefones celulares prejudica o controle cognitivo na adolescência, incluindo a rede neural de repouso (Default Mode Network) e rede central executiva (funções executivas). Utilizar esses equipamentos tem um efeito direto em nosso sistema de recompensa levando à busca de recompensas mais imediatas com o aumento no tempo de uso (aversão à espera).

Os autores colocam que as pesquisas devem avançar na busca de mecanismos causais para esses fenômenos com novos conceitos, metodologias e a discussão das implicações dessas atividades para o neurodesenvolvimento. Portanto, faz-se necessário cada vez mais realizar estudos e pesquisas sobre os impactos positivos das tecnologias, e também seus impactos negativos, buscando melhorar métodos e sistemas no sentido de minimizar seus efeitos deletérios,

potencializando suas possibilidades e sua utilização para o aprendizado, a aplicação clínica e também promover o desenvolvimento humano saudável.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos abordados na presente revisão fornecem uma gama notável no campo interdisciplinar das neurociências da música aplicadas à saúde para o aprofundamento dos conhecimentos sobre as atividades musicais e seu impacto no neurodesenvolvimento e no desenvolvimento, além de suas relações com os campos acadêmico, clínico e social.

Com a inauguração do Laboratório de Neurociências da Música e Musicoterapia no Departamento de Psicobiologia da Unifesp, será possível ampliar as pesquisas com vários temas e populações diversas no sentido de contribuir para essas áreas com a criação de instrumentos de pesquisa e estudos direcionados à avaliação e aplicação da música em contextos que envolvem desde o neurodesenvolvimento até práticas multidisciplinares com indivíduos acometidos por problemas neurológicos e comportamentais com o objetivo de estudar as interrelações recíprocas entre a música e suas propriedades e a fisiologia cerebral para 1) estabelecer bases fisiológicas para a reabilitação através da música; 2) estudar as modificações autonômicas (FCR, GSR, temperatura) mediante a estimulação musical (ritmo, melodia e harmonia) e cerebrais (EEG, fNIRS, potenciais evocados); 3) criação de músicas específicas para aspectos fisiológicos disfuncionais (reabilitação neurológica, demências, Parkinson) além de transtornos do neurodesenvolvimento (autismo, TDAH, discalculia, dislexia), transtornos psiquiátricos (depressão, ansiedade); 4) correlacionar aspectos da estimulação binaural com aspectos fisiológicos autônomos e cognitivos de sons e música; 5) Estudar a sincronização temporal de informações sensoriais com o controle motor e a cognição (ritmos, melodia) relacionando também com as áreas da educação e da clínica; 6) Estudar as bases sinestésicas dos fenômenos sonoros e musicais com foco na criação de instrumentos interdisciplinares para o auxílio na clínica e na área acadêmica, proporcionando partituras com utilização de cores e sons associados no tratamento de transtornos neurológicos, comportamentais, e também auxiliando na área educacional. Estes são os desafios colocados para que possamos assim contribuir de forma multidisciplinar com base nas neurociências, tanto sobre os aspectos estéticos, quanto sobre as propriedades e possibilidades clínicas e educacionais da utilização da música.

## REFERÊNCIAS

- Brattico E, Bogert B, Jacobsen T. Toward a neural chronometry for the aesthetic experience of music. *Front Psychol*. 2013 May 1;4:206. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00206>. PMID: 23641223; PMCID: PMC3640187.
- Baird A, Samson S, Miller L. Music and dementia. *Progress in Brain Research*, 2017 237, 253-275.
- Bieleninik L, Geretsegger M, Mössler K, Assmus J, Thompson G, Gattino G, Elefant C, Gottfried T, Iglizzi R, Muratori F, Suvini F, Kim J, Crawford MJ, Odell-Miller H, Oldfield A, Casey Ó, Finnemann J, Carpentre J, Park AL, Grossi E, Gold C; TIME-A Study Team. Effects of Improvisational Music Therapy vs Enhanced Standard Care on Symptom Severity Among Children With Autism Spectrum Disorder: The TIME-A Randomized Clinical Trial. *JAMA*. 2017 Aug 8;318(6):525-535. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.9478>. Erratum in: *JAMA*. 2021 Apr 13;325(14):1473. PMID: 28787504; PMCID: PMC5817481.
- Blood AJ, Zatorre RJ. Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2001; 98:11818–11823.
- Bugos JA, Mostafa WI. The effects of music performance on the attitudes of students with attention-deficit hyperactivity disorder. *Psychology of Music*, 2011 39(3):262-274.
- Carrer, LRJ, Amorosino C, Coelho LE, Rosas S. Musicoterapia Vibroacústica: um movimento transdisciplinar promovendo qualidade de vida: um estudo de caso. Trabalho apresentado no 12th World Congress for Music Therapy. 2008 Buenos Aires, Argentina. [https://www.academia.edu/10439003/Musicoterapia\\_Vibroac%C3%Bastica](https://www.academia.edu/10439003/Musicoterapia_Vibroac%C3%Bastica)
- Carrer LRJ. Music and Sound in Time Processing of Children with ADHD. *Frontiers in Psychiatry*. 2015 6 <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00127>
- Carrer LRJ, Pompéia S, Miranda MC. Sensorimotor synchronization with music and metronome in school-aged children. *Psychology of Music*, 2023 51(2):523-540. <https://doi.org/10.1177/03057356221100286>
- Cytowic RE. *Synesthesia: a union of the senses*. 2009 MIT press.
- Cytowic RE, Eagleman DM. *Synesthesia: Perspectives from cognitive neuroscience*. 2009 Oxford University Press.
- Chaieb L, Wilpert EC, Reber TP, Fell J. Auditory beat stimulation and its effects on cognition and mood States. *Front Psychiatry*. 2015 May 12;6:70. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00070>. PMID:26029120; PMCID:PMC4428073.
- Chen GW, Iversen JR, Kao MH, Loui P, Patel AD, Zatorre RJ, Edwards E. Music for strengthening evidence-based research for music-based intervention. *The Journal of Neuroscience*, 2022 November, 9, 42(45): 8489-8507.
- Chen WG, Schloesser D, Arensdorf AM, Simmons JM, Cui C, Valentino R, Gnadt JW, Nielsen L, Hillaire-Clarke CS, Spruance V, Horowitz TS, Vallejo YF, Langevin HM The emerging science of interoception: sensing, integrating, interpreting, and regulating signals within the self. *Trends Neurosci*, 2021; 44:3–16.
- Droit-Volet S, Ramos D, Bueno JL, Bigand E. Music, emotion, and time perception: the influence of subjective emotional valence and arousal? *Front Psychol*. 2013 Jul 17; 4:417. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00417>. PMID: 23882233; PMCID: PMC3713348.
- Eagleman DMM. Synesthesia in its protean guises. *British Journal of Psychology*, 2009; 100(2):305-307.
- Edwards EST, Hillaire-Clarke C, Frank DW, Finkelstein R, Cheever T, Chen WG, Onken L, Poremba A, Riddle R, Schloesser DM, Burgdorf C, Wells N, Fleming R, Collins FS. The NIH Music-Based Interventions Toolkit. *Neurology* 2022.
- Flaugnacco E, Lopez L, Terribili C, Montico M, Zoia S, Schon D. Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: a randomized control trial. *PLoS One*, 2015;10:e0138715.
- Gaser C, Schlaug G. Brain structures differ between musicians and non-musicians. *The Journal of Neuroscience*, 2003; 23(27):9240–9245.

- Geretsegger M, Elefant C, Mössler KA, Gold C. Music therapy for people with autism spectrum disorder. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2014(6): CD004381.
- Gordon RL, Shivers CM, Wieland EA, Kotz SA, Yoder PJ, Devin McAuley J. Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children. *Developmental Science*, 2015; 18(4): 635-644.
- Harrison C, Paul M. Prolegomena to the study of synaesthesia in the arts: A symposium. *Leonardo*, 2001; 34(1): 3-4.
- Hennessy SL, Sachs ME, Ilari B, Habibi A. Effects of music training on inhibitory control and associated neural networks in school-aged children: a longitudinal study. *Front Neurosci*, 2019; 13:1080.
- Hu Y, Yu F, Wang C, Yan X, Wang K. Can Music Influence Patients With Disorders of Consciousness? An Event-Related Potential Study. *Front Neurosci*, 2021 Apr 9;15:596636. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.596636>.
- Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC, Schlaug G. Musical training shapes structural brain development. *The Journal of Neuroscience*, 2009; 29(10): 3019–3025.
- Janata P, Tomic ST, Haberman JM. Sensorimotor coupling in music and the psychology of the groove. *J Exp Psychol Gen*, 2012; 141:54–75.
- Janata P. The neural architecture of music-evoked autobiographical memories. *Cerebral Cortex*, 2009; 19(11): 2579-2594.
- Jäncke L. The relationship between music and language. *Front Psychology*, 2012; 3:123. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2012.00123>
- Jaschke AC, Honing H, Scherder EJA. Longitudinal analysis of music education on executive functions in primary school children. *Front Neurosci*, 2018;12:103.
- Jordão G. (org.). *A Música na Escola*. São Paulo, Allucci e Associados Comunicações. 2012. ISBN: 978-85-61020-01-9
- Kasdan AV, Burgess AN, Pizzagalli F, Scartozzi A, Chern A, Kotz SA, Wilson SM, Gordon RL. Identifying a brain network for musical rhythm: a functional neuroimaging meta-analysis and systematic review. *Neurosci Biobehav Rev*, 2022;136:104588.
- Koelsch S. Brain correlates of music-evoked emotions. *Nature Reviews Neuroscience*, 2014;15(3): 170–180.
- Koelsch S, Fritz TV, Cramon DY, Müller K, Friederici AD. Investigating emotion with music: an fMRI study. *Hum Brain Mapp*, 2006; 27:239–250.
- Large EW, Jones MR. The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review*, 1999; 106(1): 119–159.
- Lira VA. *Musicoterapia: Vibroacústica no tratamento da Síndrome de Rett*. Trabalho de pesquisa apresentado para a obtenção do título de graduação em musicoterapia nas Faculdades Metropolitanas Unidas, 2010 São Paulo, SP.
- Loui P, Zamm A, Schlaug G. Absolute Pitch and Synesthesia: Two Sides of the Same Coin? Shared and Distinct Neural Substrates of Music Listening. *ICMPC 2012*:618-623. PMID: 23508195; PMCID: PMC3596158.
- León-Pizarro C, Gich I, Barthe E, Rovirosa A, Farrús B, Casas F, Verger E, Biete A, Craven-Bartle J, Sierra J, Arcusa A. A randomized trial of the effect of training in relaxation and guided imagery techniques in improving psychological and quality-of-life indices for gynecologic and breast brachytherapy patients. *Psychooncology*. 2007 Nov;16(11):971-9. doi: 10.1002/pon.1171. PMID: 17311247.
- Matthews TE, Witek MA, Lund T, Vuust P, Penhune VB. The sensation of groove engages motor and reward networks. *Neuroimage*, 2020; 214:116768.
- Merchant H, Grahn Sihvonen AJ, Särkämö T, Leo V, Tervaniemi M, Altenmüller E, Soinila S. Music-based interventions in neurological rehabilitation. *Lancet Neurol*, 2017; 16:648–660.

- Monderer RS, Harrison DM, Haut SR. Neuro-modulation for epilepsy. *Neurosurgery Clinics of North America*, 2002 13(2): 333–352.
- Monroe R. Experience. Harmony/Rodale. 1971. ISBN: 9780385008619 288 p.
- Neville D, Lawson L. Seeing Sound: The Effect of Visual Influences on Auditory Processing in Cerebral Palsy. *The Open Rehabilitation Journal*, 2013; 6(1): 1-6.
- Oster G. Auditory beats in the brain. *Scientific American*, 1973; 229(4): 94–102.
- Overy K. Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Ann N Y Acad Sci*, 2003 Nov; 999:497-505. <https://doi.org/10.1196/annals.1284.060>. PMID: 14681173.
- Patel AD, Iversen JR. The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Front Syst Neurosci*, 2014; 8:57.
- Patel AD. Music as a transformative technology of the mind: an update. The evolution of musicality (Honing, H, ed.) Cambridge, MA: Massachusetts Institute of Technology 2018.
- Palmer RC, Ojala S. Vibrational Music Therapy with Deaf Clients. *Voices: a world fórum for music therapy*. 2022 Vol 22 No 3. <https://doi.org/10.15845/voices.v22i3.3388>
- Pietschnig J, Voracek M, Formann AK. Mozart effect-Shmozart effect: A meta-analysis. *Intelligence*, 2010; 38(3): 314-323.
- Quinci MA, Belden A, Goutama V, Gong D, Hanser S, Donovan NJ, Geddes M, Loui P. Longitudinal changes in auditory and reward systems following receptive music-based intervention in older adults. *Sci Rep*, 2022; 12:11517.
- Reynolds A. Painting Modernism by Ivan A. Schulman. *Revista de Estudios Hispánicos*, 2015; 49: 611-613. <https://doi.org/10.1353/rvs.2015.0059>.
- Rimland B, Rimland I. Synesthesia: A review of psychological and neuroscientific models. *Psyche*, 2000; 6(10): 1-31.
- Raglio A, Bellelli G, Traficante D, Gianotti M, Ubezio MC, Villani D, Trabucchi M. Efficacy of music therapy in the treatment of behavioral and psychiatric symptoms of dementia. *Alzheimer Disease & Associated Disorders*, 2008; 22(2): 158-162.
- Raglio A, Oasi O, Gianotti M, Rossi A, Goulene K, Stramba-Badiale M. Improvement of spontaneous language in stroke patients with chronic aphasia treated with music therapy: a randomized controlled trial. *Int J Neurosci*, 2016; 126: 235-242.
- Rajendran VG, Harper NS, Garcia-Lazaro JA, Lesica NA, Schnupp JW Midbrain adaptation may set the stage for the perception of musical beat. *Proc Biol Sci*, 2017; 284:20171455.
- Rauscher FH, Shaw GL, Ky KN. Music and spatial task performance. *Nature*, 1993; 365(6447): 611.
- Rauscher FH, Shaw GL, Levine LJ, Wright EL, Dennis WR, Newcomb RL. Music training causes long-term enhancement of preschool children's spatial-temporal reasoning. *Neurological Research*, 1997; 19(1): 2-8.
- Repp BH. Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, 2005; 12(6): 969–992.
- Rouw R, Scholte HS. Increased structural connectivity in grapheme-color synesthesia. *Nature Neuroscience*, 2016; 19(1):17-19.
- Sacks O. Synesthetic Associations and Psychosensory Symptoms of Temporal Lobe Epilepsy. *Neurocase*, 2007; 13(5-6): 436-440.
- Salimpoor VN, Benovoy M, Larcher K, Dagher A, Zatorre RJ. Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nat Neurosci*, 2011; 14:257–262.

- Salimpoor VN, van den Bosch I, Kovacevic N, McIntosh AR, Dagher A, Zatorre RJ. Interactions between the nucleus accumbens and auditory cortices predict music reward value. *Science*, 2013; 340:216–219.
- Särkämö T, Tervaniemi M, Laitinen S, Forsblom A, Soinila S, Mikkonen M, Hietanen M. Music listening enhances cognitive recovery and mood after a middle cerebral artery stroke. *Brain*, 2008; 131(3): 866-876.
- Schlaug G, Forgeard M, Zhu L, Norton A, Winner E. Training-induced Neuroplasticity in Young Children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009; 1169: 205-208. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04842.x>
- Schellenberg EG. Music and cognitive abilities. *Current Directions in Psychological Science*, 2005; 14(6): 317-320.
- Shulman R. Dreaming in Color: Victor Hugo's Synesthetic Novel. *French Review*, 2012; 86(6): 1180-1191.
- Tang ZQ, Gao H, Lu Y. Control of a depolarizing GABAergic input in an auditory coincidence detection circuit. *J Neurophysiol*, 2009; 102:1672–1683. <https://doi.org/10.1152/jn.00419.2009>
- Thoma MV, La Marca R, Brönnimann R, Finkel L, Ehlert U, Nater UM. The effect of music on the human stress response. *PLoS ONE*, 2013; 8(8): e70156.
- Van de Winckel A, Feys H, De Weerd W, Dom R, Van de Weyer L. Cognitive and behavioural effects of music-based exercises in patients with dementia. *Clinical Rehabilitation*, 2004; 18(3): 253-260.
- Vuust P, Heggli OA, Friston KJ, Kringelbach ML. Music in the brain. *Nat Rev Neurosci*, 2022; 23:287–305.
- Wahbeh H, Calabrese C, Zwickey H. Binaural beat technology in humans: A pilot study to assess psychologic and physiologic effects. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 2007; 13(1): 25–32.
- Ward J. Synesthesia. *Annual Review of Psychology*, 2013; 64:49-75.