



CATÓLICA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

LISBOA·PORTO

A INFLUÊNCIA DA APRENDIZAGEM MUSICAL NO DESEMPENHO NA MBEA

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para
obtenção de grau de mestre em Neuropsicologia

Por Daniel Houghton

Lisboa, 2021



CATÓLICA
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE

LISBOA·PORTO

THE INFLUENCE OF MUSICAL LEARNING
ON MBEA PERFORMANCE

A INFLUÊNCIA DA APRENDIZAGEM MUSICAL
NO DESEMPENHO NA MBEA

Dissertação apresentada à Universidade Católica Portuguesa para
obtenção de grau de mestre em Neuropsicologia

Por Daniel Houghton

Sob orientação da Professora Doutora Maria Vânia Nunes

Lisboa, 2021

Resumo

O entendimento de certas capacidades musicais como universais e determinadas por processos biológicos provém da existência de constantes transculturais em relação à música, teorias evolutivas sobre a sua origem, estudos genéticos, e estudos que demonstram empiricamente uma apetência musical implícita em todos os seres humanos, na ausência de perturbações do desenvolvimento ou lesões adquiridas. Sendo a música um fenómeno cerebral, vários estudos sugerem a existência de modularidade na cognição musical, a qual é independente de outras funções como a linguagem, e recorre a substratos neurais fixos, corroborando as teorias biológicas da música. A *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* (MBEA) foi concebida para avaliar as capacidades de perceção e memória musical universais e inatas, e para o diagnóstico de amusia. Músicos profissionais treinam minuciosamente o seu ofício, e apresentam alterações estruturais e funcionais no processamento da música. Neste trabalho, que faz parte do estudo de normalização da MBEA para a população portuguesa, averiguámos se a aprendizagem musical influencia o desempenho na bateria. Comparámos as pontuações obtidas por músicos e estudantes de escolas de música em Lisboa ($n = 40$; média de anos de instrução = 11,4) com as pontuações de sujeitos sem formação musical ($n = 40$) nos testes de escala, contorno, intervalo, ritmo, métrica, e memória musical, e no índice global. Os músicos conseguiram pontuações significativamente superiores em todos os testes e índices, havendo no entanto sobreposição entre grupos. Verificámos ainda uma correlação ($r = 0,357$) entre os anos de instrução musical dos músicos e o índice global. Estes resultados contestam a validade de constructo da MBEA, pois sugerem que a bateria não avalia somente as competências musicais inatas, mas também habilidades passíveis de serem aprendidas formalmente e treinadas. Assim, como ferramenta para o diagnóstico de amusia, a MBEA deve ter em conta nas suas normas a instrução musical.

Palavras chave: Música; MBEA; perceção e memória musical; aprendizagem musical; avaliação de amusia.

Abstract

The understanding that certain musical abilities are universal and determined by biological processes is based on the evidence concerning transcultural musical constants, evolutionary theories about their origin, genetic studies, and empirical studies showing an implicit musical tendency in all humans without developmental disorders or brain damage. Various studies have suggested the existence of modularity in musical cognition, which is independent of other functions such as language, and is supported by fixed neural correlates, in accordance with biological theories of music. The Montreal Battery of Evaluation of Amusia (MBEA) was conceived to assess universal and innate capacities of musical perception and memory, and to provide a tool for the diagnosis of amusia. Professional musicians practice their trade comprehensively, and present structural and functional brain differences in musical processing relative to non-musicians. In our work, which is part of a larger study intended to establish norms for use of the MBEA on the Portuguese population, we inquired whether musical learning influences performance on the battery. We compared scores obtained by musicians and students in music schools in Lisbon ($n = 40$; mean years of practice = 11,4) with those of subjects with no musical training whatsoever ($n = 40$), on the scale, contour, interval, rhythm, meter and memory tests, as well as the global index. Musicians achieved significantly higher scores on all tests and indices than non-musicians, although there was some overlap between groups. Furthermore, the global index scores of musicians correlated with years of practice ($r = 0,375$). These results put into question the construct validity of the MBEA, since they suggest the battery does not merely assess innate musical abilities, but also those which can be formally learnt and practiced. Therefore, we suggest the years of musical practice be taken into account in the MBEA norms.

Keywords: Music; MBEA; musical perception and memory; musical learning; assessment of amusia.

Agradecimentos

Em janeiro de 2020, os relatos do surto de um novo coronavírus chegavam vindos de Wuhan causando preocupação em todo o mundo e em Portugal, incluindo na sua comunidade académica. Em breve seria impossível a presença física nas aulas, nos estágios, ou a recolha de dados para estudos experimentais com humanos – um obstáculo significativo para a realização de grande parte das dissertações nas ciências da saúde. Porém, a minha preocupação à data era outra: não deveria a minha dissertação na área da neuropsicologia ocupar-se de funções cognitivas e síndromes clínicas como demências, tumores cerebrais ou perturbações do desenvolvimento? Que interesse teria a arte, e a música em específico, para a neuropsicologia?

Tendo isto em mente, o meu primeiro agradecimento dirige-se à minha orientadora, a Professora Doutora Maria Vânia Nunes, que não só aceitou o meu projeto sobre o mapeamento espacial de tons, como também me aceitou no seu estudo de normalização da *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* para a população portuguesa quando o meu projeto inicial se tornou inviável devido à situação pandémica no nosso país. A professora iluminou-me em relação ao valor indubitável da música para a neuropsicologia, bem como para o entendimento do ser humano. Espero neste trabalho ter retribuído a sua confiança, e espelhado a minha aprendizagem e interesse por esta área que se foi desenvolvendo ao longo do ano.

Devo um obrigado aos meus amigos e colegas de curso, com os quais pude partilhar e debater a experiência de aprendizagem que foi a minha dissertação, e todo o mestrado em neuropsicologia. Devo ainda um agradecimento aos restantes professores do Mestrado de Neuropsicologia, que indiretamente também contribuíram para a minha realização deste trabalho, com destaque para a Professora Doutora Filipa Ribeiro e a Professora Doutora Rita Canaipa. Não posso esquecer também os professores do ISCTE-ICS, e o Professor João Ferreira, junto dos quais iniciei a minha aprendizagem em Psicologia.

Índice

Resumo	i
Abstract	ii
Agradecimentos	iii
Enquadramento teórico	1
O que é a música?	1
Estudar a música de um ponto de vista científico	4
Estudar a cognição musical é estudar um fenómeno biológico? O porquê de ouvirmos música	5
Como é que ouvimos música?	14
Modelo de perceção e reconhecimento musical	39
<i>A Montreal Battery of Evaluation of Amusia</i>	43
Afinal, são os músicos um caso especial?	45
Método	53
Desenho experimental	53
Participantes	53
Materiais e procedimento	54
Análise estatística	56
Resultados	57
Análise descritiva	57
Análise inferencial	60
Discussão	63
Limitações	69
Estudos futuros	69
Referências	71

Enquadramento teórico

O que é a música?

De entre as inúmeras atividades humanas, a música destaca-se pela sua universalidade e antiguidade. Nenhuma cultura na História da humanidade viveu sem este fenómeno, sugerindo que sempre praticámos e retirámos prazer da música (Koelsch, 2012). Alguns dos artefactos arqueológicos mais antigos encontrados são instrumentos musicais – flautas criadas a partir de ossos (Conard, Malina & Münzel, 2009), e peles de animais esticadas com ramos de árvore para fazer tambores. Sempre que os humanos se reúnem, seja por que motivo for, a música está presente: casamentos, funerais, cerimónias académicas, eventos desportivos, demonstrações militares, festas noturnas, momentos de oração, jantares românticos ou mães a embalar os seus filhos (Levitin, 2006).

Ouvimos música não só em concertos musicais – eventos especiais em que nos dedicamos especialmente à atividade de ouvir ou praticar música – mas também no resto da nossa vida, quando queremos comunicar por exemplo através de anúncios ou filmes, para ajudar a passar o tempo nos nossos carros ou elevadores, enquanto relaxamos e durante o nosso trabalho. Em suma, a música faz parte do nosso quotidiano, e entrelaça-se com toda a vida e o comportamento humano.

No entanto, como muitas vezes sucede com conceitos complexos e abstratos mas com os quais interagimos diariamente, definir música pode ser um exercício penoso e ingrato. Podemos encontrar num dicionário digital de Língua Portuguesa várias definições (<https://dicionario.priberam.org/m%C3%BAAsica> consultado em outubro de 2020): (1) organização de sons com intenções estéticas, artísticas ou lúdicas, variáveis com o autor, com a zona geográfica, com a época etc.; (2) arte e técnica de combinar os sons de forma melodiosa; (3) composição ou obra musical; (4) execução de uma peça musical. Infelizmente, estas ou são demasiado abrangentes, ao não distinguirem música de outros conceitos, ou são demasiado restritas e pecam por etnocentrismo.

A primeira definição mencionada pode igualmente dizer respeito a outras formas de arte com base na linguagem, como seja a leitura de poemas. A mesma crítica se

poderia apontar à famosa proposta do compositor Edgard Varèse, que define música como “som organizado”. As restantes cobrem o conceito apenas de uma perspectiva ocidental, em que a música é praticada apenas por uma minoria talentosa e as restantes pessoas se limitam a assistir. Na realidade, durante a maior parte da nossa História fazer música seria uma atividade tão natural como andar, respirar ou comer, em que todos participavam. Tal ainda se verifica em algumas culturas isoladas como a população de Lesotho no sul de África. Ainda para mais, esta conceptualização restringe a música a um processo sonoro-auditivo, ignorando a corporalização que se entende em algumas culturas como fazendo parte da sua prática e perceção: por exemplo, para o povo Igbo da Nigéria o termo “*nkwa*” designa simultaneamente cantar, tocar instrumentos e dançar (Gourlay, 1984).

A estas definições falta ainda um aspeto crucial, que iremos ilustrar de seguida. A música é composta por várias dimensões ou elementos básicos que lhe dão corpo (Levitin, 2002). Como veremos, a dimensão mais importante é provavelmente o tom (Peretz, 2013), o qual corresponde à perceção psicológica da frequência de um determinado som – é o que nos permite dizer qual é a nota musical a ser tocada por um piano. Aliás, trata-se de uma dimensão de tal forma importante, que o nosso córtex auditivo se encontra tonotopicamente organizado (Koelsch, 2012). Porém, o tom que percecionamos nem sempre corresponde diretamente à frequência real do som.

Quando se gera um determinado som, por exemplo nas cordas de uma guitarra, são produzidos vários modos de vibração, e conseqüentemente várias frequências em simultâneo. É uma propriedade dos objetos naturais vibrarem com várias frequências ao mesmo tempo. Assim, ao ouvirmos uma nota de um piano, estamos na realidade a ouvir vários tons, e não apenas um – sendo a exceção quando se trata de um tom puro, normalmente conseguido através de um diapasão. Curiosamente, estas várias frequências estão matematicamente relacionadas: são múltiplos inteiros umas das outras. Ou seja, se ao fazermos vibrar uma corda a sua frequência mais baixa for de 110 ciclos completos por segundo, as restantes frequências serão de 220 Hz, 330 Hz, 440 Hz etc., criando um padrão que adjetivamos de harmónico. Contudo, nós não temos a perceção de ouvir todas estas frequências: ouvimos apenas a frequência mais proeminente que corresponde ao seu ritmo de vibração mais baixo (no nosso exemplo,

110 Hz). A esta frequência chama-se a frequência fundamental de um determinado tom, e referimo-nos às restantes frequências como sobretons.

Quando um tom harmónico é tocado, os neurónios no córtex auditivo – tonotopicamente organizado – que são sensíveis a uma ou mais componentes desse mesmo tom disparam potenciais de ação, sincronizando a sua atividade (Tramo, Cariani, Delgutte & Braidá, 2003). No fenómeno já bastante estudado da restauração do fundamental ausente, se nos depararmos com um tom ao qual tenha sido retirada a sua frequência fundamental (tem apenas os seus sobretons), continuamos a perceber o som como se a frequência fundamental estivesse presente (Zatorre, 1988). Isto é, se nos for apresentado um som harmónico cujas frequências sejam 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz etc., percebemos o tom como sendo de 100 Hz. Ao analisar o conjunto de sobretons presentes, o cérebro humano infere e preenche a frequência fundamental do tom, mesmo quando esta não está presente. Crucialmente, esta é uma capacidade perdida em sujeitos com lesões cerebrais no lobo temporal direito que incluíam a circunvolução de Heschl (Zatorre, 1988).

Este é um exemplo muito simples de como quando ouvimos música, não estamos simplesmente e passivamente a receber e ouvir sons que provêm do mundo exterior. A música é um constructo mental, uma criação cerebral. Um tom não é mais do que uma representação mental e subjetiva de um fenómeno físico que é a agitação de partículas de ar, ao qual chamamos a frequência do som.

Poder-se-á fazer uma analogia com a visão. Foi Isaac Newton o primeiro a constatar que a luz não tem cor, e que portanto esta deve ser criada pelo nosso cérebro. As ondas de luz são caracterizadas por ondas com diferentes frequências de oscilação e, quando estas são detetadas pela retina de um observador, espoletam uma cadeia de reações eletroquímicas cujo produto final é uma imagem mental interna a que chamamos cor. Embora um dado objeto nos pareça de determinada cor, os seus átomos não têm em si essa cor – trata-se de uma construção mental. E sem um cérebro para a construir, a cor é uma qualidade que simplesmente não existe. Respondendo à famosa questão avançada pelo filósofo George Berkeley, se uma árvore cair no meio da floresta sem nenhum cérebro para criar sentido da vibração que esta causa nas moléculas de ar, esta não produz qualquer tom.

Com isto em conta, uma definição válida do conceito de música deve atender ao facto de se tratar de uma construção mental. Uma que nos parece particularmente adequada é proposta por Cross (2003): “as músicas são particularizações culturais da capacidade humana de formar representações ao integrar informação proveniente de vários domínios funcionais de experiência e comportamento sequenciado ao longo do tempo, geralmente expressas através do som¹”.

Estudar a música de um ponto de vista científico

A música é uma constante na nossa vida, e fazer ou ouvir música é um comportamento natural para o ser humano. Tendo em conta que é também um fenómeno mental, o estudo da produção e perceção musical enquadra-se no campo da Psicologia – e mais especificamente da Neuropsicologia, uma vez que é relevante e de interesse científico a relação entre o comportamento musical e o cérebro. Ao ouvir ou produzir música, recorremos a um conjunto amplo de processos psicológicos incluindo perceção e integração multimodal, atenção, aprendizagem e memória, processamento sintático e processamento semântico de informação, ação, emoção e cognição social (Koelsch, 2012). A música é especial por reunir todas estas temáticas (disciplinas em psicologia em si mesmas), o que faz dela uma ferramenta ideal para investigar os mais variados processos cognitivos, bem como a sua interação.

Outro aspeto relevante é a sua distribuição de capacidades na população. Ao contrário de outras funções nervosas superiores – à cabeça, a linguagem – apenas uma minoria de indivíduos se torna perita na prática musical. Esta particularidade atribui à música um papel privilegiado no estudo da plasticidade neural (Peretz & Zatorre, 2003). Adicionalmente, as influências culturais nos costumes musicais conferem ainda ao estudo da música a função de averiguar a origem biológica das funções cognitivas humanas. Assim sendo, o estudo da música de um ponto de vista científico oferece uma oportunidade única para melhor entender a organização e funcionamento do cérebro humano, e responder a questões sobre a natureza das funções cognitivas. Koelsch (2012) avança mesmo que a música não é apenas uma janela para aceder ao funcionamento do cérebro, é uma ferramenta necessária para o seu estudo.

¹ Traduzido pelo aluno.

Neste contexto, é surpreendente que o estudo da cognição musical enquanto função nervosa superior tenha sido, durante muito tempo, relativamente negligenciado. Porém, nos últimos anos um conjunto de desenvolvimentos tecnológicos e teóricos têm resultado numa profunda mudança na forma como o estudo científico da música é percebido (Peretz & Zatorre, 2003).

Primeiro, o desenvolvimento da psicologia cognitiva na segunda metade do século XX permitiu que fosse reconhecido o valor da música no estudo da percepção, atenção e memória. Em segundo lugar, a neuropsicologia, cuja base teórica sempre se assentou no ramo da neurologia e fisiologia, começou a adoptar paradigmas experimentais e cognitivos que permitiram perceber o efeito de lesões cerebrais na cognição musical. A psicologia do desenvolvimento levou também à exploração de novas técnicas para investigar o comportamento de recém-nascidos, com implicações para o estudo de capacidades inatas e com influências culturais. Por último, o refinamento de técnicas de neuroimagem estrutural e funcional permitiu estudar *in vivo* o funcionamento musical e plasticidade neural resultante desta atividade (Peretz & Zatorre, 2003).

Estudar a cognição musical é estudar um fenómeno biológico? O porquê de ouvirmos música

O estudo da cognição musical centra-se em volta de duas questões, as quais acabam por estar intimamente relacionadas: como é que o cérebro processa música, e porque é que o cérebro processa música? Começaremos por inquirir sobre a razão pela qual ouvimos música, o que nos conduzirá a perguntar pela origem da música em si.

É a música uma criação biológica ou cultural²? Os humanos são, evidentemente, organismos biológicos e, por consequência, tudo o que é criado pelo Homem pode ser considerado biológico. No entanto, o cérebro humano é um sistema altamente flexível capaz de aprender códigos e capacidades passíveis de serem transmitidas por mecanismos não genéticos, como é o caso do código Morse. Embora certas capacidades necessárias para a comunicação por código Morse tenham sem dúvida uma origem natural e se apoiem em vários mecanismos corticais de propósitos gerais, este meio de comunicação surge como uma criação científica e cultural. A comunicação por código

² A distinção biológico-cultural é a mesma que entre inato e adquirido, ou natural e desenvolvido. Opta-se por esta terminologia por ser a usada na literatura.

Morse pode – ou não – ser aprendida, mas apenas com recurso a aulas e outras formas de comunicação, e nunca surgirá espontaneamente no ser humano. A questão sobre a qual nos debruçaremos brevemente é se a música é um produto cultural, ou se está nos nossos genes e surge espontaneamente no ser humano (Peretz, 2006).

Pinker (1994) notoriamente descreveu música como *cheesecake*³ auditivo – uma criação agradável, mas supérflua: “No que toca à causa e efeito em biologia, a música é inútil. Não parece servir nenhum propósito como fornecer mais tempo de vida, ter netos, ou oferecer uma percepção ou predição precisa da realidade. Quando comparada com a linguagem, a visão, cognição social ou capacidade física, a música poderia desaparecer da nossa espécie sem alterar o nosso estilo de vida⁴” (Pinker, 1997, p.528).

Deste ponto de vista, a música é uma capacidade parasita. Assenta em funções cognitivas já existentes – particularmente a linguagem – e recorre a vários mecanismos corticais com propósitos gerais, ou específicos, mas diferentes do processamento musical. A música será por isso uma “exaptação” (Gould & Vrba, 1982) – como é por exemplo o desenvolvimento de penas, que na realidade surge antes do voo nas aves, e cujo propósito original seria proporcionar isolamento térmico. Entende-se a música como um artefacto criado por mero acaso, e como uma prática transmitida entre gerações por meios culturais. Pinker (1997) nota, por exemplo, que enquanto todas as crianças com um desenvolvimento normal adquirem a competência da linguagem sem instrução explícita, muitos adultos não possuem qualquer capacidade musical, e refere ainda que ao passo que as perturbações do desenvolvimento da linguagem ocorrem na ausência de outros défices, as perturbações do desenvolvimento musical são raras.

Todavia, podemos apontar várias falhas a esta descrição, as quais irão guiar em parte a nossa exposição da evidência a favor de uma perspectiva da música como um fenómeno biológico.

A música é geralmente considerada uma forma de arte, um produto refinado de cultura humana. De certa forma, a etnomusicologia e vários compositores

³ O recurso à analogia com um *cheesecake* relaciona-se com um argumento por parte de céticos da teoria da evolução, o qual alega que o desenvolvimento de uma atração por alimentos que se sabe serem altamente prejudiciais para a saúde não é compatível com a noção de seleção natural. Este deve ser confrontado com a teoria da busca pelo prazer não adaptativa (*non adaptive pleasure seeking*, NAPS). Como escreve Sapolsky (2017), possuímos ainda hoje corpos e mentes adaptados às condições de há milhares de anos.

⁴ Traduzido pelo aluno.

contemporâneos têm reforçado esta perspectiva, argumentando que as preferências musicais são específicas à cultura a que pertencemos e que podem ser modificadas pela exposição (Schönberg, 1984). Esta perspectiva parece ser justificada à luz da heterogeneidade de gêneros que a música é capaz de encarnar.

Não obstante, trata-se de facto de um comportamento universal (Merriam, 1964), na medida em que podemos identificar determinadas características comuns em todas as culturas. E como argumenta Blacking (1995), todas as sociedades humanas têm o que musicólogos reconheceriam como música. Nettl (2000) chega a identificar algumas propriedades universais básicas da música: música vocal, uso da métrica ou batida, e o uso de três ou quatro tons (geralmente combinando segundas maiores e terceiras menores). Cruzando as sugestões de diversos autores (eg. Dowling & Harwood, 1986), o recurso a tons fixos e discretos parece ser verdadeiramente fundamental e exclusivo à música. Estes tons mantêm-se imutáveis de geração em geração, mesmo na ausência de instrumentos ou notação musical (Peretz, 2006).

Adicionalmente, a capacidade musical não só é transversal a todas as culturas, como também é comum a todos os membros de cada cultura. Relativamente a este aspeto, Pinker (1997) não faz uma distinção entre conhecimento musical implícito e capacidade musical demonstrável (Trehub, 2003), sucumbindo a uma perspectiva etnocentrista. Embora a produção de música na sociedade contemporânea ocidental seja levada a cabo por uma classe especializada de artistas, a capacidade musical não pode ser definida apenas com base na competência da produção – mesmo na nossa sociedade (quase) todos os membros são capazes de perceber, e conseqüentemente perceber música (Cross, 2003).

São vários os estudos que atestam às capacidades musicais da generalidade da população, seja ao verificar um desempenho conseguido por parte de pessoas sem qualquer formação musical em tarefas musicais, seja pela comparação entre músicos proficientes e pessoas sem formação musical que obtêm resultados similares em certos exercícios que requerem implicitamente conhecimento musical (Bigand & Poulin-Charronnat, 2006).

Bigand (1990) estudou a capacidade de músicos e leigos para emparceirar excertos musicais que diferiam nas suas características superficiais (e.g. contorno, ritmo) de acordo com as suas características estruturais subjacentes, nomeadamente a

forma como os eventos se organizam e repetem ao longo do tempo, frequentemente percebida como criação e subsequente alívio de tensão musical (Lerdahl & Jackendoff, 1983). Embora os músicos tenham conseguido melhores resultados, empareilhando excertos musicais com características estruturais semelhantes, mesmo os participantes sem qualquer formação musical obtiveram um desempenho melhor do que o que seria conseguido ao acaso. Similarmente, Dalla Bella e Peretz (2005) constataram que tal como músicos profissionais, participantes sem qualquer formação musical avaliaram pares de excertos musicais como sendo mais semelhantes quando os seus estilos de composição (barroco, classicismo, romanticismo e pós-romanticismo) estavam mais próximos historicamente.

Outro conjunto de estudos (Shepard & Jordan, 1984; Bigand & Pineau, 1997; Tillmann, Bharucha & Bigand, 2000; Bigand, Tillman, Poulin, D'Adamo & Madurell, 2001; Bigand, Poulin, Tillman, Madurell & D'Adamo, 2003) verificou que mesmo na ausência de qualquer treino musical, participantes têm a capacidade de antecipar eventos musicais pela geração de expectativas, de forma automática e irrepresível, a partir de características sintáticas subtis de um excerto musical. Conseguem também ter resultados semelhantes a músicos treinados no que toca à aprendizagem de novos idiomas musicais (Bigand, Perruchet & Boyer, 1998). Também Racette e Peretz (2007) reportam a ausência de diferenças entre músicos e leigos na aprendizagem do canto de uma música popular. Por fim, ambos os grupos parecem responder emocionalmente da mesma forma aos mesmos excertos musicais (Bigand, Vieillard, Madurell, Marozeau & Dacquet, 2005), sugerindo que a aprendizagem formal não é necessária para se responder à música de um modo sofisticado.

É também notável a pequena mas consistente minoria de indivíduos que se tornaram músicos de renome, e cujo trabalho é amplamente aclamado, mas sem nunca terem tido aulas formais de música. É o exemplo de Louis Armstrong, o compositor, cantor e instrumentista americano que se tornou uma das figuras mais importantes não só do Jazz, como de toda a música popular do século XX, embora na sua juventude não tivesse tido possibilidades financeiras para poder participar em aulas de música (Collier, 1983).

Porém, as possíveis explicações sobre a universalidade de certas capacidades musicais no ser humano são um ponto de divergência na literatura (Levinson, 1997).

Por um lado, alguns investigadores advogam que as competências musicais têm origem em predisposições inatas (Trehub, 2003) selecionadas por pressões adaptativas (Cross, 2003). Mesmo pessoas sem qualquer treino musical são constantemente expostas à música no dia-a-dia, e esta pode ser suficiente para se adquirir implicitamente conhecimento sofisticado sobre as regras gerais da música ocidental (e.g. Krumhansl, 1990; Tillmann, Bharucha & Bigand, 2000). Esta ideia é corroborada pela capacidade do ser humano para internalizar regularidades estatísticas do ambiente auditivo através de processos implícitos de aprendizagem (Saffran, Aslin & Newport, 1996; Saffran, Newport & Aslin, 1996; Saffran, Johnson, Aslin & Newport, 1999). Por outro lado, outros autores defendem que as capacidades musicais são apenas adquiridas através do treino intensivo, e que se mantêm pouco desenvolvidas na ausência de aprendizagem formal (Wolpert, 1990, 2000). Outro ponto de vista é o de que as capacidades musicais se desenvolvem naturalmente até aos dez anos, mas que não progridem para além desta idade sem haver uma aprendizagem explícita (Francès, Zenatti & Imberty, 1979).

Independentemente das teorias propostas, constatar que uma competência é comum a toda a população de uma determinada cultura não é por si só suficiente para assegurar que esta tenha sido conferida por meios biológicos. Por exemplo, a esmagadora maioria da população adulta na sociedade ocidental sabe soletrar o seu nome ou os números até dez, embora não se trate certamente de uma capacidade inata mas sim transmitida por um meio cultural, neste caso a aprendizagem formal.

A evidência de que a musicalidade do ser humano tem uma origem biológica é sobretudo reforçada por estudos com recém-nascidos que revelam constantes interculturais (Papousek, 1996; Trevarthen, 1999; Trehub, 2003). Crianças pré-verbais conseguem perceber características estruturais e afetivas de sons musicais (Trehub, Schellenberg & Hill, 1997). Têm, por exemplo, a capacidade de distinguir intervalos quando está presente uma quinta perfeita (intervalo de sete semitons; Cohen, Thorpe & Trehub, 1987; Lynch, Eilers, Oller & Urbano, 1990; Trehub, Thorpe & Trainor, 1990; Trainor & Trehub, 1993). Crianças pré-verbais prestam também mais atenção e exibem melhor afeto quando ouvem música consonante, por comparação a música com intervalos dissonantes (Zentner & Kagan, 1996, 1998; Trainor & Heinmiller, 1998).

Para além da capacidade melódica, crianças pré-verbais mostram também a capacidade de distinguir sequências que apenas diferem no seu arranjo rítmico (Chang

& Trehub, 1977; Demany, McKenzie & Vurpillot, 1977; Trehub & Thorpe, 1989), e agrupam ritmicamente sequências de tons isócronos, com base em semelhanças do tom ou timbre (Thorpe, Trehub, Morrongiello & Bull, 1988; Thorpe & Trehub, 1989). Tal como adultos, recém-nascidos mostram-se enviesados em relação à percepção de regularidade, exibindo sensibilidade a pequenas disrupções (Drake, 1998).

Há ainda evidência proveniente de estudos de escuta dicótica de que a especialização hemisférica em crianças pré-verbais para a linguagem (hemisfério esquerdo) e música (hemisfério direito) corresponde à que é encontrada em adultos (Best, Hoffman & Glanville, 1982; Bertoncini et al., 1989). Posto isto, o ser humano é um ser musical desde nascença, mesmo antes de sofrer qualquer influência cultural.

As propostas de que a cognição musical é uma capacidade inata justificam a existência desta competência pelo seu valor adaptativo na evolução humana. Aliás, ao perguntarmo-nos acerca de uma capacidade humana omnipresente, estamos implicitamente a colocar questões acerca da evolução humana (Levitin, 2006). A teoria da evolução pela seleção natural é, não raro, pensada apenas em termos fisiológicos, deixando esquecidos os processos psicológicos (Barkow, Cosmides & Tooby, 1992). No entanto, a seleção natural ocorre não só ao nível do nosso sistema imunitário, trato digestivo, mandíbulas ou laringe, mas molda também as nossas atitudes, disposições, emoções, percepções e funções cognitivas – desde que estas aumentem a propagação dos genes que codificam para as características que lhes dizem respeito.

Atribuir à música uma origem evolutiva será sempre um exercício especulativo. O “adaptacionismo” (Andrews, Gangestad & Matthews, 2002) assume que se um dado traço é prevalente na população, então terá surgido por ser adaptativo, levando à abordagem de determinar se um dado traço é de facto adaptativo e quais as pressões seletivas lhe terão dado origem. Mas esta abordagem, amplamente adoptada pela biologia social, é por vezes criticada por levar a teorias auto-confirmatórias (eg. Gould & Lewontin, 1979), uma crítica exacerbada neste caso pelos benefícios adaptativos da música não serem irrefutáveis. Como aponta Brown (2000), “a biologia social explica demasiado, e prevê muito pouco”. Ainda assim, iremos expor algumas evidências que suportam, ou pelo menos sugerem, a possibilidade de uma origem evolutiva da música.

As pressões evolutivas tendem a surtir efeito a um ritmo extremamente lento. Desta feita, se a cognição musical for de facto o resultado da seleção natural, então

deverá ter uma origem bastante antiga (a maioria das adaptações evolutivas do ser humano terão tido lugar no período Pleistoceno – Hawks, Hunley, Lee & Wolpoff, 2000). Como referido anteriormente, achados arqueológicos confirmam esta condição. Em 1995 foi descoberta em Divje Babe, Eslovénia, uma flauta que se estima ter entre 43 e 82,000 anos (Turk, 1997; Wong, 1997) – um dos instrumentos mais antigos já encontrados. Tendo em conta que outros instrumentos menos complexos provavelmente antecedem o uso da flauta, e que mesmo antes do uso de instrumentos se terá criado música através do canto, música poderá datar desde há 150 a 250,000 anos⁵ (Huron, 2003).

Ainda para mais, o comportamento musical teria certamente alguns custos associados: consumo de tempo e energia a tocar ou cantar música, mais o tempo despendido a preparar os instrumentos musicais, e o som da música poderia alertar ou atrair outros animais, entre outros. Sendo a música um comportamento tão antigo, seria de esperar que as pressões evolutivas o tivessem abolido caso este não trouxesse também vantagens aos seus praticantes.

De facto, caso as competências musicais tenham uma origem evolutiva, estas devem proporcionar a propagação dos genes dos organismos que as adquirem, e por conseguinte resultar em comportamentos adaptativos. Porém, não é imediatamente aparente quais poderão ter sido as vantagens conferidas pelo comportamento musical. Voltando à descrição de Pinker (1997), o psicólogo evolucionista não reconhece qualquer benefício resultante do comportamento musical, ao invés da linguagem que terá contribuído para a organização e coordenação de diversas atividades, e para o estabelecimento de laços afetivos em pequenos grupos.

Ainda assim, podemos propor algumas teorias acerca da possível vantagem evolutiva da música (Huron, 2003): (1) da mesma maneira que alguns animais são sexualmente atraídos por parceiros com cores vistosas, o comportamento musical pode ter surgido como uma forma de corte, sinalizando que o indivíduo se encontra de boa

⁵ Ainda para mais, este instrumento – criado a partir do fémur de um Urso Europeu, espécie agora extinta – foi encontrado num local que se acredita corresponder a um cemitério Neandertal. Ou seja, a música poderá não só ser comum a todos os *Homo sapiens*, mas também a todo o género *Homo* (Turk, 1997; Wong, 1997; Huron, 2003).

saúde⁶ (Brown, 2000; Miller, 2000); (2) a música pode ter criado ou mantido a coesão social, contribuindo para a solidariedade e altruísmo, e assim aumentando a eficácia de atividades coletivas; (3) a música pode contribuir para a coordenação entre o grupo na realização de certos trabalhos; (4) ouvir música poderá ter efeitos benéficos no desenvolvimento das faculdades perceptivas; (5) as atividades musicais podem contribuir para o desenvolvimento e aperfeiçoamento das capacidades motoras; (6) a música poderá reduzir os conflitos interpessoais (em comparação com a linguagem, a música poderá resultar em menos discussões); (7) as atividades musicais podem representar uma forma segura de passar o tempo, sem incorrer em riscos desnecessários; e (8) a música poderá veicular a comunicação transgeracional, ao fornecer mnemónicas para informação útil para a sobrevivência.

A maior parte destas propostas é reconciliável com a teoria geral de que o valor adaptativo da música surge da sua capacidade para sincronizar o comportamento e humor dos elementos de um grupo ao estabelecer uma plataforma para a criação de laços afetivos. Huron (2003) enumera cinco argumentos a favor desta teoria: (i) as diferenças sintomáticas entre a síndrome de Williams, caracterizada por alta sociabilidade e boas capacidades musicais, e a síndrome de Asperger, em que tipicamente são exibidos traços pouco sociáveis, e existe pouco interesse pela música; (ii) a emergência de emoções secundárias ou sociais durante o desenvolvimento está fortemente associada à empatia, entendimento e sofisticação musical; (iii) as músicas mais bem sucedidas exercem normalmente alguma função social (e.g. canção de aniversário, cânticos que fornecem identidade de grupo); (iv) a emergência de gostos musicais está relacionada com a socialização e identidade de grupo durante a adolescência; e (v) ouvir música tem influência na produção hormonal, modulando os níveis de testosterona e oxitocina (Freeman, 1995), ambas com papéis importantes no relacionamento social.

A estes argumentos podemos ainda acrescentar o efeito regulador que o canto de embalar maternal tem no humor de recém-nascidos, promovendo o bem estar e reduzindo o stress de parte a parte (Standley & Moore, 1995; Kogan, 1997; Trehub, Hill & Kamenetsky, 1997; Trehub & Trainor, 1998; Brown, 2000; Dissanayake, 2000).

⁶ O próprio Charles Darwin avançou a hipótese de que a música terá evoluído a partir da seleção sexual, tendo origem nas chamadas de acasalamento (Darwin, 1872).

Neste sentido, existem várias evidências sugestivas de que o comportamento musical é um comportamento adaptativo, e que no contexto da evolução por seleção natural (ou seleção sexual) poderia constituir uma vantagem para os seus praticantes. Miller (2000) observa que vários critérios para se considerar um comportamento como uma adaptação humana são cumpridos pela música, a saber: (1) universalidade; (2) o desenvolvimento das capacidades musicais segue uma ordem geral pré-definida (Dowling, 1999); (3) trata-se de uma capacidade comum a todos os seres humanos de uma dada cultura; (4) existem mecanismos especializados de memória (temos capacidade para nos lembrarmos de inúmeras melodias); (5) mecanismos corticais especializados para o processamento musical (Peretz & Morais, 1993); (6) há comportamentos análogos em outras espécies como as aves canoras (Slater, 2000), gibões (Geissmann, 2000) e baleias (Payne, 2000), sugerindo a ocorrência de uma evolução convergente; e (7) a música pode resultar em emoções intensas (Sloboda, 1992; Blood & Zatorre, 2001; Gabrielsson, 2011), sugerindo adaptações receptivas para além de produtivas.

Conquanto, alegar que um comportamento tem uma origem evolutiva implica ainda que este seja servido por competências passíveis de serem transmitidas de geração em geração. A afirmação de que a música é uma adaptação evolutiva tem apenas credibilidade na medida em que se conseguir estabelecer que as capacidades musicais estão codificadas no genoma humano e podem ser transmitidas à descendência, identificando de preferência o gene ou grupo de genes em questão.

A influência que os genes têm sobre a cognição musical tem sido estudada por diversas vias. Um meio frequente de averiguar a componente genética de um dado traço é através do estudo de indivíduos com comportamentos anómalos, investigando a presença de determinados alelos em genes de interesse. Neste sentido, o estudo de perturbações de perceção musical – sobre as quais nos debruçaremos mais adiante – permite chegar à conclusão de que estas têm uma componente hereditária (Peretz, Cummings & Dubé, 2007): 39% dos familiares próximos de indivíduos com uma perturbação na perceção de tons (e na ausência de qualquer perturbação da linguagem) apresentam este mesmo défice, em relação a apenas 3% no resto da população.

Num outro estudo, a identificação do gene FOXP2 como estando associado a uma perturbação na fala (Lai, Fisher, Hurst, Vargha-Khadem & Monaco, 2001) levou a que

indivíduos com uma mutação neste gene fossem também avaliados em relação à produção e percepção musical, sendo identificados défices rítmicos (Alcock, Passingham, Watkins & Vargha-Khadem, 2000). Assim sendo, parece haver duas capacidades distintas transmitidas geneticamente, a sequenciação de tons e a sequenciação temporal (Peretz, 2006).

Como é que ouvimos música?

Outro aspeto relevante ao considerarmos a existência de uma correspondência direta entre a biologia e a música, e a sua origem cultural ou natural, são os correlatos anatómicos da percepção e produção de música. Entramos assim na zona de interseção entre as duas questões científicas principais sobre a música: à neuropsicologia interessa naturalmente identificar os correlatos anatómicos do processamento musical e os seus mecanismos; e as respostas a esta questão acarretam por sua vez implicações acerca da possível origem biológica ou cultural da música.

Voltando à descrição de Pinker (1997), a música é retratada como um bónus, um efeito secundário de um conjunto de outras capacidades, essas sim com um propósito claro. Uma ilação desta premissa é que a cognição musical deve por isso recrutar mecanismos neuro-anatómicos a outras funções, não havendo nenhuma estrutura cuja função seja exclusivamente dedicada à música. Como resultado, será muito pouco provável haver doentes com um défice isolado na cognição musical, seja por lesões adquiridas ou perturbações do desenvolvimento – ao contrário do que acontece por exemplo com a linguagem, que pode encontrar-se seletivamente acometida (como em Broca, 1861; e Wernicke, 1874).

Efetivamente, é expectável que uma função cognitiva determinada biologicamente seja altamente especializada funcional e anatomicamente. Espera-se então que a cognição musical recorra a redes neurais específicas para o processamento de música, e que essas mesmas estruturas sejam inadequadas ao processamento de outro tipo de informação (Peretz, 2003) – este deve ser específico ao domínio da música. Mas antes de apresentarmos evidências contra ou a favor da especialização da música, importa distinguir e clarificar alguns conceitos no que diz respeito a questões de especialização, especificidade de domínio, localização cerebral e inatismo. O conceito central que reúne

vários destes termos, e dando aso a algumas interpretações desajustadas, é o de modularidade.

A modularidade no processamento musical

Desde os anos 80 em que o conceito de modularidade foi introduzido por Fodor em “*The Modularity of Mind*” (1983), este tem tido uma grande influência sobre a psicologia e a filosofia. Em contrapartida, o desenvolvimento desde esta altura da psicologia evolucionista levou a que os seus proponentes adoptassem uma conceptualização de modularidade menos exigente do que a avançada por Fodor (Tooby & Cosmides, 1992; Cosmides & Tooby, 1994; Pinker, 1997; Barrett, 2005; Tooby, Cosmides & Barrett, 2005), argumentando a favor de uma noção de modularidade baseada na especialização funcional (Barrett & Kurzban, 2006), e que a mente é por isso mais modular do que primeiramente proposto⁷. Enquanto Fodor (1983) considera que a modularidade se limita aos sistemas básicos periféricos, como os de recepção de informação (Barrett & Kurzban, 2006), outros autores (e.g. Samuels, 1998; Sperber, 2002; Carruthers, 2005) defendem uma “modularidade massiva” que se estende às funções nervosas superiores mais complexas como o planeamento ou a tomada de decisão, as quais são consideradas por Fodor como “centrais”. Vários autores procuram desacreditar a modularidade massiva teórica ou experimentalmente (Elman et al., 1996; Deacon, 1998; Ramachandran & Blakeslee, 1998; Buller & Hardcastle, 2000; Fodor, 2001; Panksepp & Panksepp, 2000, 2001; Quartz & Sejnowski, 2002; Buller, 2006).

Na perspetiva clássica Fodoriana, um módulo é um sistema (pode ser uma função ou mecanismo) que tipicamente apresenta as seguintes características (Fodor, 1983): (1) especificidade de domínio; (2) operações automáticas; (3) acesso limitado por parte do sistema central; (4) rapidez de processamento; (5) encapsulamento de informação; (6) outputs pouco sofisticados; (7) uma arquitetura neural fixa; (8) padrões característicos no processamento de informação; e (9) ritmo e sequenciação ontogénica característicos.

Embora nem todas estas propriedades sejam estritamente necessárias para haver modularidade (Coltheart, 1999), Fodor considera o encapsulamento de informação como a mais importante – a informação cognitiva utilizada pelo sistema é limitada em

⁷ Este desacordo reflete-se nas obras de Pinker em “*How the mind works*” (1997), e de Fodor em “*The mind doesn't work that way*” (2001).

comparação com a que poderia ser implantada, ou seja, o sistema não recorre ou não tem acesso a toda a informação disponível ao organismo. Desta forma, o sistema não é influenciável por agentes exteriores como crenças, expectativas ou desejos, ou o treino e a aprendizagem. Por outras palavras, um módulo deve ser resistente a processos *top-down*, ou mesmo horizontais (Fodor, 2001; Sperber, 2002; Samuels, 2005). O reverso da moeda é que o sistema central tem também ele um acesso limitado ao que se passa num dado módulo, de modo que não conseguimos discernir por introspeção as regras de um determinado módulo (por exemplo, não sabemos por que razão vemos a três dimensões).

É também expectável que um módulo se desenvolva de forma inata e a um ritmo característico e ordeiro, havendo períodos identificáveis pela presença ou ausência de determinadas capacidades. Ao receber um determinado tipo de input, o módulo deve gerar rápida e automaticamente – sem controlo por parte do sistema central – um output (como quando lemos uma palavra automaticamente ao ver as suas letras), e espera-se que o módulo recorra a circuitos neurais fixos, e passíveis de serem seletivamente acometidos. Por fim, um sistema modular deve possuir especificidade de domínio, na medida em que aceita ou se especializa no tratamento de apenas uma classe específica de informação no seu processamento (Fodor, 1983; Samuels, 2005; Sperber, 2005), e Coltheart (1999) considera esta propriedade tão essencial como o encapsulamento de informação.

Assim sendo, alegar a existência de um módulo de processamento musical implica que haja um sistema mental de processamento de informação cuja operação seja específica ao processamento de música (Peretz & Coltheart, 2003). Este sistema poderá também incluir sub-módulos cujos domínios de processamento poderão ser restritos a aspetos musicais específicos, analogamente ao que acontece com a linguagem (Ullman et al., 1997).

Contudo, especificidade de domínio, especialização neural e inatismo são conceitos separáveis (Peretz & Coltheart, 2003). Sistemas com especificidade de domínio e especialização neural não são necessariamente inatos, uma vez que estes sistemas podem ter origem na experiência e aprendizagem. Por exemplo, a capacidade de leitura, que depende da consciência fonológica e do sistema de reconhecimento da forma visual da palavra, recorre à região temporal inferior esquerda – especificamente

dedicada ao processamento de seqüências de letras (Cohen et al., 2000). No entanto, é absurdo considerar a leitura uma capacidade inata, pois trata-se de uma invenção humana relativamente recente em termos evolutivos e que requer aprendizagem explícita. Neste sentido, a hipótese da “reciclagem neural” (Dehaene & Cohen, 2007) propõe a ocorrência de uma invasão por parte das criações culturais de redes cerebrais antigas em termos evolutivos, e que sirvam propósitos semelhantes. Por sua vez, uma dada função ou tarefa pode ser realizada de forma inata sem recorrer a mecanismos especializados (Trehub & Hannon, 2006), servindo-se de mecanismos gerais que operam em conjunto com pré-disposições em relação a certos estímulos e comportamentos, resultando na sua universalidade no ser humano.

A existência de modularidade no processamento musical seria certamente sugestiva em relação à origem biológica da música, mas não inteiramente conclusiva. A modularidade é um conceito que engloba várias características, e a importância relativa que estas assumem não é ainda consensual. Posto isto, será prudente avaliar a evidência para especificidade de domínio, especialização neural e inatismo de forma independente. Por exemplo, mesmo havendo modularidade no processamento musical, é concebível que este módulo não possua a propriedade de especificidade neural: os substratos neurais para o processamento musical poderão ser partilhados com os utilizados para a análise de outros padrões sonoros complexos, como a fala.

A evidência de que a musicalidade do ser humano é uma capacidade inata foi já apresentada, através do estudo das capacidades musicais em crianças pré-verbais (Trehub, 2003), e estudos genéticos que sugerem que certas capacidades musicais estão codificadas nos nossos genes (Peretz, Cummings & Dubé, 2007). Assim sendo, iremos argumentar a existência de especificidade de domínio no processamento musical, e seguidamente descrever os seus substratos neurais.

Especificidade de domínio

Ao averiguarmos a especificidade de domínio do processamento musical devemos considerar a possibilidade de que apenas certos aspetos do processamento musical sejam específicos à música. Embora o termo esteja tipicamente reservado para toda uma função nervosa superior, não há nenhuma razão teórica pela qual não se possa atribuir a qualidade de especificidade de domínio a componentes específicas de uma competência

(Coltheart, 1999). É, aliás, pouco provável que todos os aspetos do processamento musical sejam exclusivos a este domínio. A componente que reúne mais evidências de ser específica ao domínio da música é a codificação tonal da altura do som (mas ver Vuvan, Nunes-Silva & Peretz, 2015).

A variação de tons na música gera uma determinada escala musical, mas o mesmo não acontece com a entoação na fala (Balzano, 1982). Ainda para mais, estas escalas são universais e têm intervalos desiguais entre as suas notas, que estão organizadas entre cinco a sete tons. Diferentes escalas de tons não são equivalentes entre si, sendo cada uma composta à volta de um tom central, denominada a nota tónica. Normalmente, uma peça musical começa e acaba na nota tónica da escala utilizada. Por entre as restantes notas da escala nem todas assumem a mesma importância ou nível de estabilidade, há uma hierarquia. Tons que não pertençam à escala são percebidos como assumindo um som estranho ou anómalo.

Este conhecimento tonal implícito permite a qualquer indivíduo detetar uma nota errada num dado excerto musical, de forma automática e irrepresível (Shepard & Jordan, 1984; Justus & Bharucha, 2001). A hierarquização dos tons segundo a nota tónica da escala a ser tocada é indispensável à perceção, memória e desempenho musical, e é responsável pela criação de expectativas (Tillmann, Bharucha & Bigand, 2000) que ocorre, como já vimos, mesmo em indivíduos sem qualquer formação musical.

No entanto, esta capacidade pode ser seletivamente comprometida como resultado de uma lesão cerebral (Peretz, 1996), ou de uma condição genética (Peretz & Hyde, 2003). No caso de não haver qualquer componente do processamento musical exclusivamente dedicado a esse propósito, não seria possível encontrar doentes com um défice no processamento musical mas sem dificuldade em qualquer outra função cognitiva. Também não seria expectável encontrar doentes com um défice generalizado na cognição, enquanto as suas capacidades musicais estivessem poupadas. E crucialmente, a capacidade de codificação tonal da altura do som pode ser comprometida ou preservada de um modo seletivo.

Ao comprometimento da capacidade de processamento musical de forma adquirida dá-se o nome de amusia (Brust, 2003). Perturbações adquiridas referem-se às sequelas de uma lesão cerebral, sendo provavelmente a mais comum um acidente

vascular cerebral em idade adulta. As lesões cerebrais adquiridas podem ser reveladoras em relação ao funcionamento normal do cérebro, uma vez que as perturbações estão constringidas pela organização do sistema antes de estar danificado, que até ao acidente se encontrava estável. Nesta medida, o estudo da amusia é de grande interesse para a investigação sobre o processamento musical, e é informativo em relação à modularidade da cognição musical dada a observação recorrente de que uma dada lesão não compromete todo o funcionamento cerebral, mas apenas alguns domínios em particular.

A amusia pode ser vista analogamente à afasia na área da linguagem, na medida em que se pode tratar de um défice receptivo, de produção ou ambos, e que não pode ser explicada por uma perturbação do aparelho articulatório ou dos mecanismos de recepção primários (Peretz, 2003). Por outras palavras, uma paralisia na língua ou a surdez não são consideradas formas de amusia.

A primeira utilização do termo “amusia” é atribuída a Steinhal em 1871, utilizada para descrever genericamente a incapacidade de perceber música (Steinhal, 1871; Wertheim, 1969; Warren, 2004, García-Casares, Torres, Walsh & González-Santos, 2013; Nunes-Silva & Haase, 2013). A designação foi introduzida como um conceito clínico pelo médico e anatomista alemão August Knoblauch em 1888 para descrever um défice específico na detecção de tons como resultado de uma lesão no centro motor (Knoblauch, 1890; Nunes-Silva & Haase, 2013).

Henschen, ao adoptar uma perspectiva localizacionista, também subdividiu a amusia como sendo motora ou sensorial, identificando “centros” no hemisfério cerebral esquerdo: o canto residia na *pars triangularis* da terceira circunvolução frontal, a recepção musical no pólo temporal, a leitura musical na circunvolução angular, e a instrumentalização na segunda circunvolução frontal (Henschen, 1925, 1926). De forma semelhante, Kleist diferenciou entre amusias sensoriais e motoras, e descreveu centros anatómicos distintos para cantar e assobiar (Kleist, 1928). Assim, durante muito tempo a amusia foi geralmente considerada indicativa de lesões no lobo temporal direito (Henson, 1977). Contudo, esta opinião não era totalmente unânime e, confrontado com a grande heterogeneidade de pacientes com amusia, Feuchtwanger (1930) considerou a música demasiado complexa para poder ser restringida a um hemisfério, ou mesmo localizada.

O primeiro caso reportado de afasia com as capacidades musicais relativamente preservadas data do século XVIII, em que um doente com hemiparesia direita e com a fala bastante limitada podia acompanhar o canto de peças religiosas (Dalin, 1745; citado por Benton & Joynt, 1960). Casos semelhantes incluem duas crianças com afasia não fluente mas com a capacidade de cantar preservada (Jackson, 1871), um doente afásico que conseguia cantar canções familiares (Smith, 1966), e uma doente com afasia transcortical motora que manteve a capacidade de cantar e aprender canções novas (Geschwind, Quadfasel & Segarra, 1968). Estão também reportados casos mais recentes (e.g. Godefroy et al., 1995; Mendez, 2001), em que uma lesão cerebral prejudicou a compreensão verbal e reconhecimento de sons ambientais, mas não o processamento musical.

Os casos de preservação das capacidades musicais na presença de défices severos na linguagem estendem-se também à leitura e à escrita (e.g. Assal, 1973; Assal & Buffet, 1983). Porventura o caso mais célebre será o do compositor Shebalin, que na sequência de um acidente vascular cerebral desenvolveu uma afasia de Wernicke com alexia e agrafia, mas continuou a compor peças musicais bem reconhecidas (Luria, Tsvetkova & Futer, 1965). São igualmente diversos os casos de doentes com afasia e também amusia (e.g. Pötzl & Uiberall, 1937; Botez & Wertheim, 1959; Wertheim & Botez, 1959; Mavlol, 1980), ficando conhecido o caso do compositor Maurice Ravel que manifestou uma afasia progressiva associada a uma perda da capacidade de compor peças de música, devido ao acometimento do processamento das regras de composição musical (Alajouanine, 1948).

Por sua vez, casos de amusia sem perturbações da linguagem são também heterogéneos (ver Benton, 1977). Geralmente partem de lesões no hemisfério direito (Brust, 2003; ver Sihvonen et al., 2016, 2017), o que é expectável dada a conhecida associação entre o hemisfério esquerdo e a linguagem. Os seus sintomas podem incluir uma dificuldade em reconhecer sons como sendo musicais (Pittrich, 1956; citado por Spreen, Benton & Fincham, 1965), perda de sentido de ritmo (Pötzl, 1939), percecionar tons musicais como desafinados (Jellinek, 1956), ou percecionar a música como sendo monótona (Sidtis & Volpe, 1988). Défices severos no processamento melódico estão associados a lesões na área auditiva dos lobos temporais, especificamente a circunvolução temporal superior direita (Ayotte, Peretz, Rousseau, Bard & Bojanowski,

2000) Estão também relatados casos de perda de apreciação de timbre (Mazzucchi, Marchini, Budai & Parma, 1982), comprometimento seletivo da resposta emocional à música (Judd et al., 1979), e perda do prazer de ouvir música (Mazoni et al., 1993), e descritos défices seletivos no processamento musical após lobectomias (e.g. Milner, 1962; Samson & Zatorre, 1991).

Um caso bem descrito na literatura é o da paciente I.R. (Peretz et al., 1994; Peretz, Belleville & Fontaine, 1997). Como consequência de sucessivas intervenções cirúrgicas para o tratamento de aneurismas, I.R. sofreu lesões cerebrais em ambos os hemisférios. Tendo crescido numa família bastante envolvida com a música, esta sempre tinha tido um forte significado para a doente. Porém, as lesões cerebrais de I.R. causaram défices severos e irreversíveis na perceção e memória musical, mas sem quaisquer consequências para a sua capacidade de linguagem.

A dissociação entre música e linguagem é um tanto mais evidente quando os dois domínios são comparados em tarefas semelhantes (Peretz, 2003). Neste sentido, alguns doentes como G.L. ou C.N. (Peretz, 1996; ver também Griffiths et al., 1997; Piccirilli, Sciarna & Luzzi, 2000 para casos semelhantes) perderam a capacidade de reconhecer a melodia de uma canção familiar, mas conseguem reconhecê-la pela sua letra. Ainda para mais, conseguem reconhecer uma canção recorrendo à voz do cantor e a sua entoação (Patel, Peretz, Tramo & Labrecque, 1998).

Um achado frequente, para além da perda seletiva das capacidades musicais com preservação da linguagem, é o acometimento específico de certas capacidades musicais. Por exemplo, Peretz (1990) verificou que danos no hemisfério direito devido a um acidente vascular cerebral tinham mais frequentemente como consequência défices na identificação de alterações ao nível dos intervalos ou do contorno melódico, enquanto danos no hemisfério esquerdo produziram défices apenas no processamento de intervalos. Uma lesão em qualquer um dos hemisférios resultou em dificuldades rítmicas, mas não com a métrica (Peretz, 1990; ver também Liégeois-Chauvel, Peretz, Babai, Laguitton & Chauvel, 1998; Schuppert, Münte, Wieringa & Altenmüller, 2000).

De facto, é relativamente extensa não só a literatura neurológica sobre a amusia adquirida no seguimento de lesão cerebral (Critchley & Henson, 1977), como também, em sentido oposto, a que evidencia lesões adquiridas que preservam seletivamente as capacidades musicais. Porém, recentemente tem havido um maior foco sobre algumas

condições que se tornam aparentes no decorrer do desenvolvimento, e em que as capacidades musicais também estão seletivamente acometidas ou mantidas: perturbações congénitas.

A caracterização de uma perturbação como “congénita” distingue-a como estando presente desde o nascimento, sem especificar a sua etiologia. É notável como certas perturbações congénitas têm um forte impacto nas capacidades intelectuais e sociais, mas sem prejudicarem as capacidades musicais. Por exemplo, alguns sujeitos com autismo apresentam o que se chama de “síndrome de *savant* musical” (Miller, 1989), apresentando capacidades musicais suficientes para se tornarem músicos profissionais, enquanto manifestam dificuldades marcadas em áreas como a linguagem (Heaton, Hermelin & Pring, 1998). É bem conhecido o caso de “Blind Tom” (Miller, 1989), um escravo no século XIX que provavelmente sofria de autismo, e cujo repertório lexical incluía menos de 100 palavras, mas que conseguia tocar mais de 5000 peças musicais. Também já aludimos à síndrome de Williams, uma perturbação genética com consequências cognitivas debilitantes, embora os sujeitos sintam uma grande atração pela música e capacidades musicais tenham relativamente boas (Don, Schellenberg & Rourke, 1999).

Os casos de “músicos *savants*” sugerem que a proficiência musical não depende do desenvolvimento normal do sistema cognitivo-afetivo, e pode mesmo ser atingida quando o funcionamento cognitivo e social se encontra globalmente prejudicado (Peretz, 2003). Assim sendo, será expectável que se possa encontrar a situação inversa: pessoas cuja competência musical não chega ao seu nível de desempenho nas esferas cognitivas e sociais, mesmo na ausência de qualquer lesão cerebral.

Confirmando esta expectativa, existem indivíduos que experienciam problemas vitalícios com a produção e perceção musical (para estudos de prevalência ver Henry & McAuley, 2010; Peretz & Vuvan, 2017). Esta perturbação do desenvolvimento denomina-se amusia congénita⁸ (Peretz, 2003), e manifesta-se como uma dificuldade em cantar afinado, dançar ou marcar o ritmo de uma música, detetar notas desadequadas em melodias novas ou familiares, avaliar a dissonância de excertos musicais, e

⁸ Sobre as alterações estruturais e funcionais cerebrais em pessoas com amusia congénita ver: Hyde, Zatorre, Griffiths, Lerch & Peretz, 2006; Hyde et al., 2007; Mandell, Schulze & Schlaug, 2007; Loui & Schlaug, 2009; Loui, Alsop & Schlaug, 2009; Hyde, Zatorre & Peretz, 2011; Albouy, Mattout, Sanchez, Tillman & Caclin, 2015; Lévêque et al., 2016.

reconhecer e memorizar melodias sem letras (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002; Dalla Bella & Peretz, 2003; Dalla Bella, Giguere & Peretz, 2009; Tremblay-Champoux, Dalla Bella, Phillips-Silver, Lebrun & Peretz, 2010; Stewart, 2011; Tillman, Albouy & Caclin, 2015; Peretz, 2016). Estes problemas não podem ser explicados por défices periféricos de processamento auditivo, uma perturbação geral do desenvolvimento, uma falta de exposição à música (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002), ou lesões cerebrais adquiridas (Peretz, 2013). O termo “amusia congénita” foi escolhido como forma de reconhecer a possibilidade de haver tanta heterogeneidade nesta perturbação do desenvolvimento como há na amusia consequente a lesão cerebral (Peretz, 2013).

Relativamente à amusia congénita estão também descritos vários casos na literatura, incluindo algumas personalidades conhecidas como Sigmund Freud ou Che Guevara⁹ (Taibo, 1996). A primeira evidência sugestiva de um doente com amusia congénita data do século XIX através de uma descrição de Grant-Allen (1878), mas a perturbação apenas recebeu maior atenção no início do presente século com a exposição das suas manifestações comportamentais por Ayotte, Peretz e Hyde (2002), a saber, dificuldades melódicas universais, na identificação de tons dissonantes e na discriminação entre tons.

As dificuldades por parte de pessoas com amusia congénita parecem restringir-se à música. Quando participantes com amusia e controlos saudáveis foram confrontados com tarefas de reconhecimento que diferiam apenas no seu domínio – material musical, letras de músicas, e sons ambientais – os pacientes apenas demonstraram dificuldades de reconhecimento no domínio musical (Peretz, 2003). Pessoas com amusia também não têm dificuldades em distinguir frases declarativas e interrogativas quando estas apenas se diferenciam pela entoação da fala (Patel, Wong, Foxton, Lochy & Peretz, 2008; Hutchins, Zarate, Zatorre & Peretz, 2010).

Em contrapartida, ligeiras dificuldades foram detetadas quando as variações de tom eram subtis (Hutchins, et al., 2010; Liu, Patel, Fourcin & Stewart, 2010) ou requeriam memória (Patel et al., 2008). Ainda assim, estas dificuldades são ligeiras, e apenas uma pequena fração dos sujeitos com amusia congénita reportam dificuldades de comunicação no seu dia a dia (Liu et al., 2010), o que poderá também refletir o recurso

⁹ Em “*The Motorcycle Diaries*” (Guevara, 2003) é descrito como o líder cubano dança um tango, enquanto os restantes membros da festa dançavam um mambo animado.

a informação contextual. O mesmo acontece em línguas tonais como o cantonês ou o mandarim, em que o reconhecimento de variações subtis de tom é essencial para a compreensão semântica, o que poderia representar um obstáculo para pessoas com amusia.

Das evidências aqui expostas podemos retirar duas ilações: uma em relação à especificidade de domínio, e outra em relação à localização cerebral do processamento musical. Em primeira instância, a evidência de que as dificuldades de pessoas com amusia congénita se restringem à informação musical, bem como o facto de haver doentes cujas lesões cerebrais prejudicam seletivamente as competências musicais sugerem a existência de especificidade de domínio no processamento musical. Como começámos por referir ao introduzir o tema da amusia, a componente do processamento musical que parece estar especialmente deficitária, e que assume mais provavelmente uma especificidade de domínio para a música, é a codificação tonal da altura do som.

É provável que em indivíduos com amusia congénita a codificação tonal da altura do som seja demasiado grosseira (Peretz, 2013). Como demonstrado em amostras independentes, sujeitos com amusia têm dificuldades em detetar a direção de tons (Foxton, Dean, Gee, Peretz & Griffiths, 2004; Liu et al., 2010; Williamson & Stewart, 2010), e mudanças de tom menores do que dois semitons¹⁰ (Peretz et al., 2002; Hyde & Peretz, 2004). Na música ocidental, a maioria das melodias são construídas com pequenos intervalos entre tons consecutivos; 70% dos intervalos são de tons repetidos ou que diferem em um ou dois semitons (Vos & Troost, 1989). Um sistema perceptual incapaz de detetar pequenas variações de tom irá certamente ignorar uma parte essencial da estrutura musical (Peretz & Hyde, 2003), com consequências ao nível da representação do contorno ou escala de uma peça musical, pelo que a acuidade na perceção de tons está fortemente correlacionada com as capacidades musicais melódicas (Peretz, Nguyen & Cummings, 2011).

Embora as dificuldades de pessoas com amusia se possam dever a uma codificação grosseira dos tons e da sua direção, a sua discriminação pobre do contorno de excertos musicais não é melhorada quando se aumentam os intervalos entre tons de forma a estes serem maiores do que o limiar de dois semitons acima referido (Foxton et

¹⁰ A acuidade normal para um indivíduo saudável está na ordem do meio semitom (Hyde & Peretz, 2004).

al., 2004). Dado que este déficit está presente desde a nascença, poderá resultar num desenvolvimento pobre do conhecimento sobre notas musicais, e a estrutura da música incluindo o seu contorno. Por conseguinte, sujeitos com amusia podem não ter adquirido o conhecimento complexo em relação às escalas musicais que se costuma construir implicitamente, e o desenvolvimento da perceção do contorno poderá ficar cronicamente prejudicado.

Porém, nem todos os casos de amusia podem ser explicados por um déficit na codificação tonal da altura do som. Algumas pessoas diagnosticadas com amusia congénita apresentam limiares normais de detecção da alteração da direção de tons. Estes casos requerem uma explicação etiológica diferente, como por exemplo um déficit seletivo na memória de curto prazo para tons (Tillmann, Schulze & Foxton, 2009; Williamson, McDonald, Deutsch, Griffiths & Stewart, 2010; Williamson & Stewart, 2010), ou um distúrbio na perceção do timbre (Griffiths et al., 1997). Até que ponto estes outros mecanismos possuem também uma especificidade para o domínio da música é ainda uma questão em aberto.

Alguns estudos sugerem que a amusia seja concebida como uma perturbação da consciência do tom, e não da sua perceção. Indivíduos com amusia conseguem reproduzir a direção da mudança dos tons ouvidos, mesmo quando não sabem dizer se a mudança se deu para tons mais agudos ou mais graves (Loui, Guenther, Mathys & Schlaug, 2008; ver também Hutchins et al., 2010). Logo, a produção e perceção de tons podem diferir no seu acesso consciente. Esta hipótese é apoiada por estudos imagiológicos (Braun et al., 2008; Moreau, Jolicoeur & Peretz, 2009; Peretz, Brattico, Järvenpää & Tervaniemi, 2009; Hyde, Zatorre & Peretz, 2011) que demonstram uma resposta fisiológica à dissonância ou a desvios de tom intacta, mesmo quando medidas comportamentais indicam uma ausência de detecção, levando ao estabelecimento de paralelismos com a cegueira cortical (Loui et al., 2008; cf. Dalla Bella, Giguère & Peretz, 2009).

Num estudo a que já aludimos, Peretz, Cummings e Dubé (2007) concluem que a amusia congénita tem uma componente hereditária equivalente em ordem de grandeza à hereditariedade de défices de linguagem. Os autores reportam também que o risco relativo dos descendentes de pessoas com amusia foi menor do que para os seus irmãos, e justificam este resultado com a existência de um ambiente musical mais rico nas

gerações mais recentes. Assim sendo, a amusia congénita surgirá devido a susceptibilidades conferidas a partir da interação entre os genes e o ambiente, pelo que influências ambientais poderão contribuir para a sua menor prevalência.

Desta forma, ganha relevância o facto de muitos indivíduos com amusia congénita apresentarem alguma aversão ou aborrecimento em relação à música. Um estudo por questionário (McDonald & Stewart, 2008; ver também Omigie, Müllensiefen & Stewart, 2012) verificou que usam música em menos situações do dia a dia (como conduzir, ou ao fazer tarefas domésticas), e atribuem-lhe menos funções psicológicas (como a regulação do humor).

Substratos neurais fixos

Em suma, a evidência acima resumida acerca do impacto de perturbações adquiridas e congénitas nas competências musicais argumenta a favor da especificidade de domínio no processamento musical. Adicionalmente, podemos também fazer inferências sobre a existência de substratos neurais fixos do processamento de informação musical. Tanto os casos de lesões cerebrais adquiridas como os de perturbações congénitas revelam uma seletividade nos défices relativamente à cognição musical e às restantes funções cognitivas, incluindo a linguagem. Encontramos desta forma o que se denomina dupla dissociação – a ocorrência de sintomas opostos: os sintomas de um grupo de pacientes dissociam as competências musicais das restantes (e.g. pessoas com síndrome de Williams), enquanto os sintomas de um grupo distinto de pacientes dissociam o funcionamento cognitivo geral das capacidades musicais (e.g. pessoas com amusia congénita).

As duplas dissociações são há muito utilizadas na neurociência como critério para localizar funções mentais no cérebro (Teuber, 1955; Young, Hilgetag & Scannell, 2000). Especialmente antes da emergência de técnicas sofisticadas de imagiologia funcional, a única maneira de estudar os processos mentais era inferir o seu funcionamento através de alterações no desempenho em diferentes condições, envolvendo diferentes níveis de variáveis experimentais ou lesões cerebrais. Recorreu-se primeiro à lógica de duplas dissociações para distinguir entre a memória de curto e de longo prazo (e.g. Glanzer & Cunitz, 1966; Crowder, 1972), e o método foi subsequentemente adoptado pela neuropsicologia para localizar as funções no cérebro

(Coltheart, 1985), relacionando-as com lesões cerebrais. Muitos cientistas cognitivos defendem que duplas dissociações são o tipo de evidência mais forte de que uma função seja modular.

Posto isto, o processamento musical parece reunir as condições necessárias para ser considerada não só de domínio específico, mas também como recorrendo a um substrato neural fixo e isolado (Peretz & Coltheart, 2003). Mais uma vez, a codificação tonal da altura do som é o mecanismo que reúne maior evidência de ser neuroanatomicamente separável (Peretz, 2006). Para aprofundarmos melhor este assunto, e respondermos de forma mais direta à questão de como ouvimos música, iremos apresentar os seus correlatos neuroanatômicos.

A percepção musical, tal como outras funções perceptivas, está organizada funcional e anatomicamente de forma hierárquica: as estruturas que ocupam lugares mais abaixo hierarquicamente passam a informação aos lugares mais cimeiros (embora raramente este tráfico se dê em sentido único), e as características a serem processadas são sucessivamente mais complexas (Warren, 2008). Desde o ouvido externo até ao córtex auditivo primário, o processamento da música ocorre ao nível elementar – são codificadas as características dos sons individuais e as suas componentes básicas. Já os estádios de processamento que se dão a um nível hierárquico mais elevado requerem o córtex cerebral. Os sucessivos estádios de processamento começam por identificar conjuntos de características perceptivas que correspondem a um dado instrumento ou melodia; distinguem entre instrumentos e melodias que sejam apresentadas em simultâneo; associam as representações a memórias passadas e ao nosso conhecimento; e por fim preparam uma resposta apropriada. Como veremos, o conteúdo emocional da música é processado segundo uma hierarquia independente. Remetendo para o exemplo do tom dado no início do presente trabalho, as características referentes à frequência de determinado estímulo são codificadas na via ascendente auditiva, mas é ao nível do córtex que surge a percepção de tom, emergindo como resultado do processamento de todo o padrão do sinal acústico.

Perceber a importância e o papel de cada estrutura cerebral no processamento musical, e como somos capazes de codificar informações sonoras do mundo exterior, analisar as suas componentes individuais, organizá-las num todo e dar-lhes sentido de forma a criarmos o preceito de música, é uma tarefa desafiante. O que sabemos hoje

sobre a localização cerebral do processamento musical parte de estudos de lesão e de estudos de imagem. Dada a literatura vasta, geralmente convergente mas por vezes ambígua nesta área, vale a pena tomar nota das diferentes implicações de cada tipo de estudo.

Estudos que avaliam o desempenho de doentes com lesões cerebrais (ou temporariamente lesionados recorrendo a técnicas como a Estimulação Magnética Transcraniana) têm o potencial de demonstrar que uma determinada estrutura é necessária para o desempenho de determinada função, neste caso para o processamento de alguma componente da música. Contudo, não nos indicam se essa mesma estrutura é suficiente para o seu desempenho, podendo ser necessária uma rede neuronal composta por várias estruturas cerebrais, nem qual o papel específico da estrutura no desempenho da função em causa. Por sua vez, investigações que recorrem a técnicas de imagiologia funcional, como Ressonância Magnética Funcional ou Tomografia por Emissão de Positrões, revelam quais as estruturas que sofrem ativação na realização de determinada tarefa, mas não necessariamente quais aquelas que são estritamente essenciais para a sua realização. As duas abordagens são, por isso, complementares.

Começemos a nossa descrição pelo processamento de um tom isolado, e que se traduz na capacidade para distinguir sons simples com base no seu tom. A organização tonotópica da cóclea tem uma correspondência direta, através dos nervos auditivos, com o córtex auditivo. Porém, não é claro que o córtex desempenhe um papel fundamental na codificação do tom: estudos em modelo animal demonstram que a capacidade de distinção entre tons é preservada mesmo após a ablação dos córtices auditivos, sugerindo que o nível de processamento hierarquicamente inferior que ocorre no mesencéfalo e no tálamo é suficiente (Evarts, 1952; Jerison & Neff, 1953; Heffner & Masterton, 1990). A literatura converge no sentido de que a via ascendente auditiva tem um papel ativo no processamento da estrutura espectro-temporal de estímulos auditivos, e a sua função não se cinge à transmissão de informação às estruturas superiores (Harms, Melcher & Weisskoff, 1998; Griffiths, Uppenkamp, Johnsrude, Josephs & Patterson, 2001). Ainda assim, há uma distinção importante a fazer entre o processamento de tons isolados e da relação entre vários tons (Zatorre, 2003). Ao contrário da linguagem, a música não se refere a nenhum evento ou objeto no mundo

real, e cada evento musical ganha apenas significado pela sua relação com outros eventos.

Um estudo de lesão (Johnsrude, Penhune & Zatorre, 2000) avaliou doentes sujeitos a uma excisão cirúrgica no córtex auditivo do lobo temporal esquerdo ou direito em duas tarefas distintas: discriminar entre tons (apenas é necessário reconhecer uma diferença), e identificar a relação entre tons (decidir se o segundo tom era mais grave ou mais agudo que o primeiro tom). Doentes com lesões no lobo temporal esquerdo não apresentaram dificuldades em nenhuma das tarefas quando comparados com controles saudáveis. Por sua vez, os doentes com lesões no lobo temporal direito não apresentaram dificuldades na discriminação entre tons, mas sim na identificação da relação entre tons, tendo um limiar mais elevado – e este déficit foi significativamente exacerbado em doentes cujas lesões se estenderam à circunvolução de Heschl.

Assim sendo, o córtex auditivo primário direito parece desempenhar um papel importante não apenas na discriminação entre tons, mas na organização dos sons de acordo com o seu tom. Esta conclusão é consistente com estudos anteriores (Milner, 1962; Zatorre, 1985; Liégeois-Chauvel et al., 1998), e estudos que atribuem uma elevada importância ao córtex auditivo primário (Tramo, Shah & Braidá, 2002) e especificamente à porção lateral da circunvolução de Heschl (Patterson, Uppenkamp, Johnsrude & Griffiths, 2002) na análise da relação entre tons. Foram ainda verificados défices em aspetos específicos do processamento de tons em doentes com uma lesão na porção anterolateral direita da circunvolução de Heschl, na medida em que se verificaram dificuldades na perceção de um tom quando foi retirado o seu fundamental ausente (Zatorre, 1988).

Estudos de imagem prestam evidência de que a análise de alterações de tom envolve também áreas do córtex auditivo secundário posterior (Gutschalk, Patterson, Rupp, Uppenkamp & Scherg, 2002; Patterson et al., 2002; Penagos, Melcher & Oxenham, 2004; Peretz & Zatorre, 2005) e incluindo o *planum temporale*. Esta é uma área de associação auditiva, e está envolvida no processamento de componentes específicas de tons complexos, como a sua localização espacial, timbre, e características tonais (Griffiths & Warren, 2002; Warren, Uppenkamp, Patterson & Griffiths, 2003). Uma análise da literatura aponta no sentido de esta região estar implicada no processamento de relações entre diferentes elementos do tom à medida que este varia ao

longo do tempo (Thivard, Belin, Zilbovicius, Poline & Samson, 2000; Zatorre & Belin, 2001; Hall et al., 2002; Patterson et al., 2002; Zatorre, Belin & Penhune, 2002; Hart, Palmer & Hall, 2003; Warren et al., 2003).

Uma interpretação plausível destes resultados é que, mais do que a simples extração do tom, trata-se de um estágio precoce de análise melódica, em que a informação que diz respeito a intervalos (o rácio das frequências de notas sucessivas) e ao contorno (direção das variações de tom) é processada (Peretz & Zatorre, 2005). Uma fase inicial de processamento de tons permite uma subsequente análise dos padrões de tons – um nível hierarquicamente superior. Esta hipótese é ainda suportada por estudos de eletroencefalografia e magnetoencefalografia, os quais revelam uma reação pré-atencional por parte do córtex auditivo na análise das relações entre tons (Tervaniemi & Huotilainen, 2003).

Durante a análise de melodias (padrões de tons distribuídos no tempo) ocorre ativação cerebral no lobo temporal superior posterior e anterior bilateralmente, tipicamente com maior atividade no hemisfério direito (Janata et al., 2002). Lesões cerebrais que incluem o lobo temporal superior direito tendem a prejudicar a percepção melódica com maior frequência do que lesões comparáveis no hemisfério esquerdo (Milner, 1962; Zatorre, 1985; Liégeois-Chauvel et al., 1998) – em contraste com o que diz respeito às capacidades verbais¹¹. Os défices em tarefas melódicas são ainda mais severos quando as lesões no lobo temporal superior são bilaterais (Peretz et al., 1994).

Uma distinção importante a fazer sobre o processamento melódico é entre os níveis de análise “local” e “global” da informação musical (Dowling & Harwood, 1986). O nível local corresponde aos valores absolutos dos intervalos entre os tons de uma melodia, enquanto o nível global diz respeito ao padrão de subidas e descidas (contorno) definido pela melodia como um todo. Esta diferenciação pode ser observada em doentes com lesão cerebral (Peretz, 1990, 2001). Doentes com acidentes vasculares cerebrais no hemisfério direito apresentaram dificuldades na análise local e global, enquanto doentes com lesões do hemisfério esquerdo conseguiam utilizar informação

¹¹ Embora os défices no processamento de tons e outras componentes musicais sejam mais frequentemente associados a lesões no hemisfério direito, lesões equivalentes no hemisfério esquerdo podem produzir os mesmos efeitos. Deve ser tido em conta que a preponderância de lesões no hemisfério esquerdo associada a défices musicais na literatura poderá refletir um enviesamento amostral, pois sujeitos com lesões no hemisfério esquerdo encontram-se muitas vezes afásicos, e a avaliação das suas capacidades não linguísticas raramente é uma prioridade.

global, mas não local. Ou seja, foram verificados défices isolados apenas no processamento de intervalos, e não no processamento do contorno melódico. Isto sugere que é o hemisfério direito que extrai o contorno de uma melodia, e o hemisfério esquerdo utiliza esta mesma informação para analisar a informação mais específica sobre os intervalos melódicos (Peretz, 1990; Liégeois-Chauvel et al., 1998; Ayotte, et al., 2000; Vignolo, 2003; cf. Schuppert et al., 2000), realçando a relação de cooperação entre os hemisférios no processamento musical. Estudos de magnetoencefalografia corroboram esta hipótese (Patel & Balaban, 2000).

Vale a pena questionarmo-nos em relação à razão pela qual terá evoluído esta lateralização. Certamente, a especialização hemisférica no processamento melódico confere uma vantagem em relação ao processamento partilhado dado que se permite que cada hemisfério se pode especializar num domínio específico. Será portanto pertinente refletir acerca dos requisitos do processamento do contorno melódico, lateralizado no hemisfério direito, e do processamento de intervalos melódicos e da linguagem, lateralizados no hemisfério esquerdo. Tal como sucede para a linguagem, o processamento de intervalos exige uma elevada resolução temporal, uma vez que se tratam de sons imediatamente seguidos. Por outro lado, o processamento do contorno baseia-se numa maior janela temporal, requerendo uma maior acuidade de frequência (Zatorre, 2003). Num estudo de imagem foram manipulados sistematicamente os parâmetros temporais e de frequência de um estímulo auditivo, e verificou-se que o córtex auditivo esquerdo teve uma maior ativação em resposta às variações temporais do que as de frequência, acontecendo o inverso no córtex auditivo direito (Tervaniemi et al., 2000).

Esta diferença é substanciada por estudos anatómicos (Penhune et al., 1996) que demonstram várias diferenças entre os hemisférios. Em primeiro lugar, o volume da circunvolução de Heschl é significativamente maior no hemisfério esquerdo. Esta diferença deve-se apenas à substância branca – especificamente, os neurónios do córtex auditivo esquerdo encontram-se mais mielinizados (Anderson, Southern & Powers, 1999; ver também Hustler & Gazzaniga, 1996 sobre diferenças nas células piramidais entre os córtices auditivos esquerdo e direito), o que se traduzirá numa maior resolução temporal em relação ao hemisfério direito. Segundo, o espaçamento entre neurónios é menor no córtex primário auditivo do hemisfério direito do que no do esquerdo

(corroborado por Seldon, 1981; Galuske, Schlote, Bratzke & Singer 2000), o que, dada a organização tonotópica do córtex auditivo primário, resultará numa maior acuidade em relação à frequência do tom (Liégeois-Chauvel, Giraud, Badier, Marquis & Chauvel, 2003).

As relações entre tons não definem apenas a direção e tamanho dos intervalos, mas também evocam uma determinada escala musical. Na música ocidental, as melodias são construídas recorrendo escalas em que apenas certas notas musicais fixas são permitidas, e há uma vasta literatura que demonstra que ao ouvirmos música usamos de forma implícita conhecimento acerca da hierarquia que se impõe aos tons da escala (Tillmann, Bharucha & Bigand, 2000). Este é um aspeto do processamento musical que atrai interesse pela sua importância no entendimento da música ocidental e por não ter qualquer paralelismo com a linguagem, ou outros tipos de análise auditiva. A análise e utilização da informação sobre estas escalas musicais é funcional e neuroanatomicamente distinta da análise do contorno e dos intervalos, como sugerem estudos de lesão (Françès, Lhermitte & Verdy, 1973; Peretz, 1993), e estudos eletrofisiológicos (Besson & Faita, 1995; Besson, Faita, Peretz, Bonnel & Requin, 1998) e imagiológicos (Janata et al., 2002). Embora a localização precisa das redes neurais onde ocorre este processamento não tenha sido ainda determinada, parece envolver predominantemente áreas do córtex frontal medial (Janata et al., 2002).

Para além das relações entre tons sequenciais, devemos também considerar a relação entre tons apresentados simultaneamente, em acordes. As relações entre tons em acordes sequenciais são governadas por princípios harmónicos, os quais são semelhantes às regras existentes para as escalas de tons, e também parecem surgir de forma natural durante o desenvolvimento (Trainor & Trehub, 1992; Koelsch et al., 2003), sendo assimiladas pela mera exposição à música ocidental (Bigand, 2003), e manifestando-se implicitamente (Justus & Bharucha, 2001). Um desvio das expectativas harmónicas cria um potencial evocado (Regnault, Bigand & Besson, 2001). Este parece ser gerado nas áreas frontais inferiores (no *operculum* frontal, correspondendo à área de Broca no hemisfério esquerdo; Maess, Koelsch, Gunter & Friederici, 2001), como mostram estudos de Ressonância Magnética Funcional (Koelsch et al., 2002; Tillmann, Janata & Bharucha, 2003). Vários estudos (Koelsch et al., 2002; Koelsch & Siebel, 2005) demonstram também uma ativação da área de

Broca¹² na detecção de desvios harmónicos. Tramo, Cariani, Delgutte e Braidá (2003) explicam em maior detalhe os mecanismos e correlatos cerebrais da percepção de harmonia entre tons.

Tanto as relações harmónicas entre acordes, como as relações entre tons sequenciais poderão ter origem na consonância ou dissonância (Peretz & Zatorre, 2005). Intervalos consonantes tendem a apresentar um rácio simples entre as frequências dos seus tons (e.g. uma oitava tem um rácio de 2:1), ao passo que intervalos dissonantes são representados por um rácio complexo (e.g. uma segunda menor tem um rácio de 16:15), levando à proposta de que a percepção de dissonância se dá devido à resolução espacial da membrana basilar (Plomp & Levelt, 1965). Contudo, a percepção de dissonância ou consonância está também dependente de mecanismos neurais especializados, que se localizam bilateralmente na circunvolução temporal superior, em neurónios da circunvolução de Heschl, como sugerem estudos fisiológicos (Fishman et al., 2001) e estudos de lesão (Peretz, Blood, Penhune & Zatorre, 2001).

A percepção musical está fortemente dependente não só das componentes melódicas acima referidas, como também da estrutura temporal da música – variações sequenciais na duração dos eventos. Dois tipos de relações temporais são essenciais para a organização temporal de um excerto musical: a segmentação de uma sequência em grupos de acontecimentos temporais com base na sua duração, e a extração de uma regularidade temporal ou batida subjacente na sequência musical (Fraisse, 1982; Fitch, 2013). À primeira componente chamamos o ritmo, e à segunda a métrica de uma música. A percepção da batida de um excerto musical leva à percepção da organização métrica que corresponde à alternância periódica entre batidas mais fortes e mais fracas (as batidas mais fortes correspondem aos momentos em que espontaneamente batemos o pé – Drake, Jones & Baruch, 2000). Aliás, podemos identificar nos elementos

¹² A observação de que durante a análise desta componente melódica ocorre ativação na área de Broca levanta a hipótese de que as estruturas subjacentes ao processamento sintático são na verdade partilhadas entre a música e a linguagem (Levitin & Menon, 2003; Patel, 2003; Price, Thierry & Griffiths, 2005), com consequências em relação à suposta especificidade de domínio para a música. Ainda assim, a área de Broca é uma região vasta capaz de incorporar múltiplas redes neurais (Marcus, Vouloumanos & Sag, 2003), e não é clara a proximidade necessária entre redes ativadas para se considerar uma reativação (Peretz & Zatorre, 2005). A partilha da ativação de regiões cerebrais não implica a partilha de circuitos neurais. Peretz, Vuvan, Lagrois e Armony (2015) fazem uma revisão dos estudos imagiológicos relativamente à sobreposição neural entre música e linguagem, e sugerem como os devemos interpretar.

temporais hierarquias análogas às que encontramos nas componentes melódicas (Schuppert et al., 2000), embora o processo de agrupamento (ritmo) e extração de regularidade (métrica) constituam processos funcionalmente distintos (Lerdahl & Jackendoff, 1983; Drake, 1998).

A evidência de que a métrica é processada maioritariamente no hemisfério direito, e o ritmo no hemisfério esquerdo foi primeiro fundamentada por um estudo em que os seus participantes tiveram maior facilidade em bater com a mão direita ao ritmo de uma música, e em marcar a sua batida com a mão esquerda (Ibbotson & Morton, 1981). A dissociação é corroborada por estudos de lesão, em que doentes com lesões no córtex temporal auditivo direito demonstraram dificuldades métricas mas não rítmicas (Fries & Swihart, 1990; Wilson, Pressing & Wales, 2002), encontrando-se a apresentação inversa em doentes com lesões no hemisfério esquerdo (Di Pietro, Laganaro, Leeman & Schnider, 2004), e também por estudos de imagem (Sakai et al., 1999). Estudos que se focam nas competências perceptivas do processamento temporal (e.g. Peretz, 1990; Liégeois-Chauvel et al., 1998) chegam às mesmas conclusões, e sugerem uma forte componente motora na representação mental das sequências temporais.

É provável que produção e perceção de sequências temporais partilhem os mesmos correlatos neurais, e que isto aconteça tanto no domínio auditivo como no visual. De facto, estudos de lesão e estudos de imagem apresentam a participação por parte do cerebelo e dos gânglios da base como o mecanismo central na perceção temporal e controlo motor temporal (Mangels, Ivry & Shimizu, 1998; Janata & Grafton, 2003; Mathiak, Hertrich, Grodd & Ackermann, 2004; Xu, Liu, Ashe & Bushara, 2006; Grahn & Brett, 2007; Grahn & Rowe, 2009; Coull, Cheng & Meck, 2011; Schwartz & Kotze, 2013; Nozaradan, Schwartz, Obermeier & Kotz, 2017). Doentes com lesões cerebelares apresentam não só défices rítmicos motores, mas também um decréscimo na discriminação auditiva de intervalos temporais (Ivry & Keele, 1989; ver também Paquette, Fujii, Li & Schlaug, 2017), e estudos de imagem demonstram a importância dos hemisférios cerebelares laterais na reprodução de sequências rítmicas (Penhune, Zatorre & Evans, 1998; Penhune & Doyon, 2002), bem como na monitorização de sequências rítmicas visuais e auditivas (Schubotz, Friederici & von Cramon, 2000).

Desta forma, a literatura sugere a existência de um sistema cerebelar envolvido no processamento de acontecimentos organizados no tempo. Por seu turno, há também

evidência a partir de estudos de Ressonância Magnética Funcional de que os gânglios da base também estejam envolvidos na produção motora e percepção de sequências temporais (Rao et al., 1997; Harrington, Haaland & Hermanowitz, 1998; Rao, Mayer & Harrington, 2001; Grahn & Brett, 2007; Geiser, Notter & Gabrieli, 2012), e ainda outros estudos demonstram a participação de áreas corticais motoras incluindo a área suplementar motora, o córtex pré-motor e o córtex parietal (Halsband, Tanji & Freund, 1993; Grahn & Brett, 2007; Chen, Penhune & Zatorre, 2008; Grahn & McAuley, 2009). A partilha de estruturas cerebrais para a percepção temporal e o seu controlo motor sugere a proposta de uma teoria motora de percepção rítmica, analogamente à teoria motora da percepção da fala (Lieberman & Mattingly, 1985), segundo a qual a nossa percepção das componentes temporais da música dependerá dos mecanismos motores necessários para a sua produção (Stewart, Kriegstein, Warren & Griffiths, 2006; Schwartz & Kotz, 2013).

Em comparação com as capacidades melódicas e de sequenciação temporal, os correlatos neurais da percepção de timbre – a propriedade do som que nos permite distinguir entre diferentes instrumentos – têm sido menos estudados. É frequente que pessoas com amusia percecionem esta qualidade da música de forma diferente, e que tenham dificuldade em reconhecer instrumentos musicais pelo seu som. São essenciais à percepção de timbre áreas do lobo temporal superior direito, havendo sobreposição com as estruturas envolvidas na percepção de tons. Aliás, dificuldades na percepção do timbre estão normalmente associadas a défices de processamento de tons. Contudo, há casos de défices seletivos na percepção de timbre (distimbria) após lesões na circunvolução temporal superior direita (Mazzucchi, Marchini, Budai & Parma, 1982; Samson, Zatorre & Ramsay, 2002; Kohlmetz, Müller, Nager, Münte & Altenmüller, 2003). Estudos imagiológicos mostram alterações de atividade na zona posterior do lobo temporal superior bilateralmente (Menon et al., 2002), e no sulco temporal superior direito (Belin, Zatorre, Lafaille, Ahad & Pike, 2000; Warren, Jennings & Griffiths, 2005).

A música é um acontecimento que se estende ao longo do tempo. Deste modo, o processamento musical está dependente de mecanismos que permitam que um estímulo auditivo seja mantido durante um certo tempo em mente, de forma a que um elemento musical possa ser relacionado com outro que ocorra mais tarde (Peretz & Zatorre,

2005). Esta é uma capacidade de memória de trabalho, e estudos cognitivos sugerem que a manutenção de informação tonal durante curtos períodos de tempo é dissociável da memória de trabalho para informação verbal (Deutsch, 1970; Semal, Demany, Ueda & Hallé, 1996). Estudos de lesão implicam o córtex auditivo direito na memória de trabalho para tons (Zatorre & Samson, 1991), o que seria expectável uma vez que um défice no processamento de um estímulo leva a uma maior dificuldade em manter a sua informação em mente ao longo do tempo.

Para além do córtex auditivo, estudos de lesão e estudos imagiológicos associam estruturas frontais corticais (Zatorre, Evans & Meyer, 1994; Holcomb et al., 1998; Gaab, Gaser, Zaehle, Jancke & Schlaug 2003) à memória de trabalho para tons, particularmente das áreas dorsolaterais e frontais inferiores. Assim sendo, esta capacidade envolve uma interação entre áreas frontais e temporais posteriores, tal como acontece na memória de trabalho em outros domínios. Entende-se por isto a memória de trabalho para tons como um subsistema especializado dentro da capacidade geral de memória de trabalho (Marin & Perry, 1999).

A memória é fundamental não só para entender a estrutura de um excerto musical, mas também para o reconhecimento de uma peça de música (familiar ou ouvida recentemente), a sua associação a outros tipos de informação através da memória semântica e episódica (e.g. o nome da música, ou onde estávamos quando a ouvimos pela primeira vez), e para a produção espontânea de uma peça familiar. O processo de reconhecimento de uma música requer um processo de acesso e seleção de potenciais candidatos num sistema perceptual de memória (Dalla Bella, Peretz & Aronoff, 2003), e que as suas relações melódicas e temporais estejam codificadas como uma representação de longo termo que contém determinadas características invariáveis da música.

No caso específico do reconhecimento de uma música familiar, as suas características estão representadas de forma abstrata, de maneira que a possamos reconhecer mesmo havendo transposições (Dowling & Fujitami, 1971), mudanças instrumentais (Radvansky, Fleming & Simmons, 1995), e alterações rítmicas (Warren, Gardner, Brubaker & Bashford, 1991), e podem consistir em características superficiais (Halpern, 1988, 1989; Levitin, 1994; Levitin & Cook, 1996) ou estruturais (Dowling & Harwood, 1986; Large, Palmer & Pollack, 1995).

Estudos de lesão demonstram que a memória para música é dissociável tanto da capacidade de percepção musical (Eustache, Lechevalier, Viader & Lambert, 1990; Peretz, 1996; Schuppert et al., 2000), como da capacidade de memória para outros tipos de informação (mesmo que do domínio auditivo), como mostra o caso de um doente com uma lesão bilateral no córtex auditivo cujos défices de memória são específicos para a música (Peretz, 1996). No âmbito das perturbações visuais, quando a capacidade de percepção se encontra intacta mas há um défice de reconhecimento atribui-se a denominação de agnosia associativa, em oposição a agnosia aperceptiva (Lissauer, 1890). Por analogia, a amusia aperceptiva ocorrerá por uma anomalia perceptiva no domínio musical, ao passo que a amusia associativa descreverá um défice na associação entre a informação musical percebida normalmente e as representações existentes.

Estudos de lesão associam défices de memória incidental (para peças não familiares) a lesões numa rede bilateral que inclui áreas do lobo temporal medial (Samson & Zatorre, 1992). Quanto ao reconhecimento de músicas familiares, estudos de lesão implicam a região temporal superior e a ínsula (Ayotte et al., 2000), e estudos de neuroimagem mostram uma ativação das áreas temporal inferior e frontal (Platel et al., 1997; Platel, Baron, Desgranges, Bernard & Eustache, 2003), refletindo provavelmente o recurso à memória associativa (cf. Freitas et al., 2018). No caso de uma peça estar associada a uma valência emocional forte, o seu reconhecimento pode também envolver estruturas do sistema límbico, como a ínsula (Altenmüller, Siggel, Mohammadi, Samii & Münte, 2014) Por fim, a produção espontânea de uma peça a partir de representações de longo termo envolve regiões frontais inferiores (Zatorre, Halpern, Perry, Meyer, & Evans, 1996; Halpern & Zatorre, 1999).

Tendo descrito os correlatos neuroanatômicos da nossa percepção e memória musical, resta-nos referir uma faceta essencial da experiência musical – o seu apelo emocional (Juslin & Sloboda, 2001). O sistema de análise da expressão emocional de um dado excerto musical baseia-se em redes neurais distintas das capacidades de percepção e memória (Peretz, Gagnon & Bouchard, 1998; Peretz & Gagnon, 1999). A capacidade de identificação do carácter emocional de uma música pode estar preservada num doente com dificuldades no reconhecimento de peças musicais (Peretz & Gagnon, 1999; Gosselin, Paquette & Peretz, 2015), e o quadro clínico inverso também já foi descrito (Lechevalier et al., 1984; Peretz et al., 1998; Peretz & Gagnon, 1999). O tipo de

escala – maior ou menor – em que uma peça está escrita, bem como o seu *tempo* (se é rápida ou lenta) contribuem em grande medida para que esta seja percebida como sendo uma música triste ou alegre (e.g. Peretz et al., 1998; Gosselin, Paquette & Peretz, 2015). No entanto, é notável que estas características não são essenciais para reconhecermos uma música, sendo possível o reconhecimento mesmo quando ocorrem alterações ao tipo de escala e ao *tempo* (Halpern et al., 1998).

Assim sendo, a influência emocional de um excerto musical é, pelo menos em parte, determinada por componentes musicais que são analisadas por estruturas corticais já aqui referidas. Tal é compreensível tendo em conta a pesada contribuição da aprendizagem cultural para as emoções induzidas pela música. Contudo, é possível provocar de forma consistente respostas emocionais a estímulos musicais¹³, e a natureza destas respostas emocionais é semelhante às que surgem em outros contextos (Trainor & Schmidt, 2003 fornecem uma breve revisão). Um exemplo de uma resposta emocional consistentemente provocada por estímulos musicais são os “arrepios”. Esta e outras respostas emocionais estão associadas a marcadores fisiológicos (Goldstein, 1980; Krumhansl, 1997), permitindo que estas reações à música sejam estudadas de forma objetiva.

Estudos imagiológicos revelam uma ativação de várias estruturas cerebrais durante arrepios musicais, incluindo o mesencéfalo dorsal, estriado ventral (incluindo o *nucleus accumbens*), a ínsula e o córtex orbitofrontal (Blood & Zatorre, 2001) – substratos neurais principalmente associados à resposta a estímulos que satisfazem necessidades biológicas básicas. Recorrendo à Tomografia por Emissão de Positrões, um estudo confirmou o envolvimento do sistema mesolímbico de recompensa, havendo libertação de dopamina ao ouvir música pessoalmente prazerosa (Salimpoor, Bonovoy, Larcher, Dagher & Zatorre, 2011).

A ínsula é uma estrutura que responde a estímulos de diversas modalidades, e está envolvida em vários processos perceptivos e de processamento emocional. É por isso um bom candidato para a integração das dimensões cognitivas e afetivas da resposta à

¹³ Um exemplo clássico é o da resposta fisiológica universal que provoca o tema principal do filme “*Jaws*” (1975), composto por John Williams (<https://www.kennedy-center.org/education/resources-for-educators/classroom-resources/media-and-interactives/media/music/your-brain-on-music/your-brain-on-music/your-brain-on-music-chills-and-thrills/>).

música (Blood, Zatorre, Bermudez & Evans, 1999; Blood & Zatorre, 2001). Estudos de lesão sugerem uma intensidade reduzida das emoções musicais associada a lesões no lobo temporal medial (Griffiths, Warren, Dean & Howard, 2004; Gosselin et al., 2005), implicando as mesmas estruturas límbicas referidas por estudos imagiológicos. Por exemplo, um doente com uma lesão na ínsula e amígdala esquerdas deixou de experienciar arrepios em resposta a um prelúdio de Rachmaninov (Griffiths et al., 2005). Posto isto, a experiência emocional em relação à música parece por um lado depender da análise das suas características superficiais que tem lugar em estruturas corticais e, por outro lado, depender de estruturas primitivas subcorticais que compõem o sistema límbico, o qual está globalmente associado a respostas emocionais a estímulos de diversas modalidades. Zatorre e Salimpor (2013) propõem um modelo de resposta emocional à música convergente com a literatura exposta.

Resumindo, a perceção musical, tal como outras funções perçetivas, está organizada funcional e anatomicamente de forma hierárquica. Na perceção de uma peça de música as suas várias dimensões acústicas são primeiro codificadas na via ascendente auditiva em direção ao córtex auditivo primário. Os padrões perçetivos que correspondem a estas dimensões são extraídos pelo córtex auditivo primário e áreas adjacentes, recorrendo a mecanismos neurais modulares que apresentam uma relativa seletividade para uma dada componente da música. Estes mecanismos encontram-se dispersos entre os dois hemisférios cerebrais. Cada módulo de processamento cria uma representação de uma dada componente musical, e estas componentes vão-se tornando sucessivamente mais complexas ao longo dos sucessivos estádios de redes corticais. Estruturas para além do córtex auditivo associam a peça de música percecionada a experiências passadas e conhecimento factual, mediando eventuais respostas comportamentais. Em paralelo ao processamento perçetivo e cognitivo, estruturas do circuito límbico possibilitam respostas emocionais básicas que são essenciais à qualidade da experiência musical.

Modelo de perceção e reconhecimento musical

O estudo da perceção musical através de técnicas de imagem e observações comportamentais de indivíduos saudáveis e com amusia congénita ou adquirida permitiu identificar as suas bases neurais, e delimitar os vários módulos no

processamento musical. Como já referimos, muito do que sabemos hoje sobre o processamento musical parte de estudos de lesão que evidenciam duplas dissociações. Encontram-se na literatura estudos de lesão que: dissociam as competências de processamento temporal das competências melódicas (Peretz, 1990; Peretz & Kolinsky, 1993; Liégeois-Chauvel et al., 1998; Ayotte et al., 2000; Piccirilli, Sciarma & Luzzi, 2000) e as competências melódicas do processamento temporal (Mavlov, 1980; Peretz, 1990; Liégeois-Chauvel et al., 1998); dissociam o processamento do contorno melódico da análise de intervalos (Peretz, 1990; Liégeois-Chauvel et al., 1998; Ayotte et al., 2000); dissociam a codificação da escala dos tons do processamento de contornos e de intervalos (Tramo, Bharucha & Musiek, 1990) e que sugerem a dissociação inversa (Peretz, 1993); dissociam a análise métrica da análise rítmica (Peretz, 1990; Polk & Kertesz, 1993; Liégeois-Chauvel et al., 1998) e que dissociam a análise rítmica da análise métrica (Fries & Swihart, 1990; Polk & Kertesz, 1993); dissociam a análise do conteúdo emocional da música das capacidades perceptivas e de memória (Peretz & Gagnon, 1999; Gosselin, Paquette & Peretz, 2015), e que sugerem a dissociação inversa (Lechevalier et al., 1984; Peretz, Gagnon & Bouchard, 1998; Peretz & Gagnon, 1999); e finalmente que dissociam as capacidades perceptivas das de memória musical (Eustache et al., 1990; Peretz, 1996), e que dissociam as capacidades de memória da percepção musical (Eustache et al., 1990; Schuppert et al., 2000).

Contudo, estes resultados devem ser interpretados cautelosamente. Padrões de dissociação não têm qualquer significado se não forem enquadrados num paradigma teórico (ver Van Orden, Pennington & Stone, 2001), e alguns autores defendem que não são necessariamente indicativos de modularidade (e.g. Plaut, 1995). Em concordância com a tradição neuropsicológica no estudo de outras funções cognitivas, importa a proposta de um modelo para o processamento de informação musical que faça sentido das evidências até aqui expostas, especificando a arquitetura do sistema musical, as suas componentes e eventuais interações ou processos.

Uma vez que a amusia constitui um grupo heterogêneo de perturbações no processamento musical, as correlações entre dados anatómicos e clínicos são insuficientes para estabelecer uma classificação válida para os diferentes tipos de amusia. Neste contexto, um modelo de processamento de informação permite uma

interpretação funcional das apresentações clínicas e os seus correlatos neurais, e refinar a classificação dos vários tipos de amusia.

Com isto em vista, Peretz e Coltheart (2003) propuseram um modelo de processamento musical, cobrindo a perceção e memória para melodias monofónicas (figura 1). Neste modelo, uma anomalia neurológica poderá causar dano a uma componente de processamento (representada por uma caixa) ou interferir com o fluxo de informação (representado por setas) entre componentes. Vale a pena lembrar que o isolamento de cada caixa ou seta baseia-se em observações clínicas e padrões de dissociação, conferindo a cada componente individual modular a propriedade de especificidade anatómica.

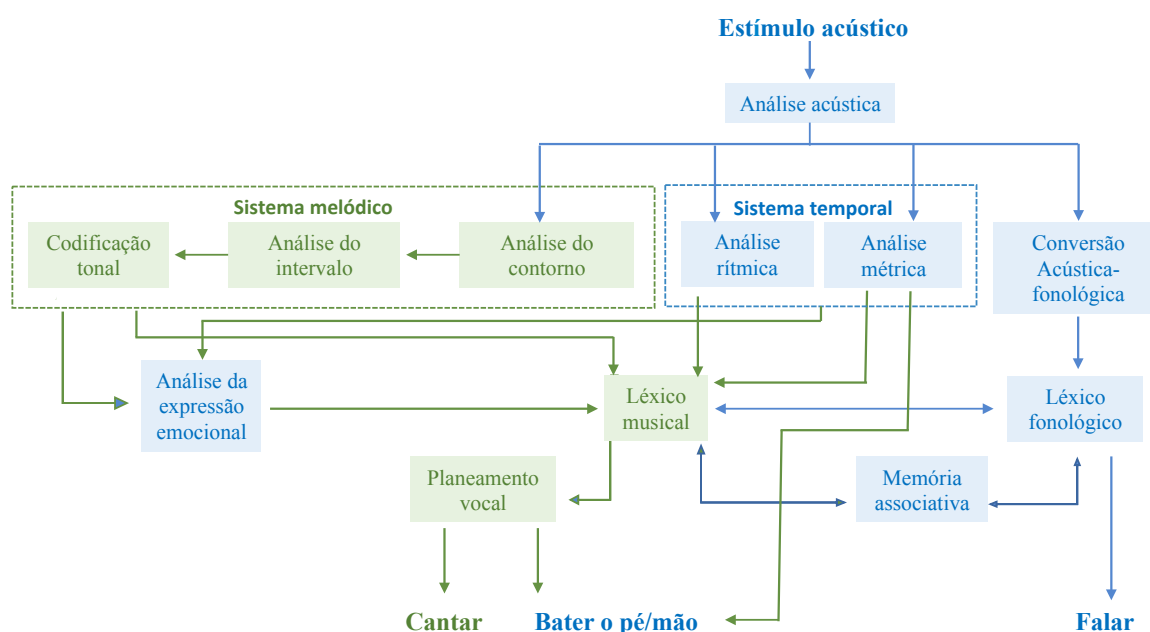


Figura 1: Modelo de perceção e memória musical (adaptado de Peretz & Coltheart, 2003). Cada caixa representa uma componente de processamento, e cada seta representa uma via de informação ou comunicação entre componentes de processamento. As componentes cujo domínio se pensa ser específico para a música encontram-se a verde; as componentes partilhadas com outros sistemas, ou com uma especificidade desconhecida, encontram-se a azul.

De acordo com o modelo proposto, a informação recebida – que consiste em qualquer estímulo acústico atribuível a uma única fonte – é organizada por dois sistemas, os quais trabalham independente e simultaneamente: o sistema melódico, e o sistema temporal. De um modo simplificado, a via melódica representa “o quê”, e a via

temporal representa o “quando” (Peretz & Coltheart, 2003). A letra da música é processada paralelamente por outro sistema dedicado à análise de linguagem, não havendo qualquer estrutura com a tarefa de diferenciar a informação musical da linguística – toda a informação é enviada para todos os módulos, mas cada sistema de processamento apenas responde ao conteúdo para o qual está especializado, pelo que o sistema de processamento musical é apenas ativado por estímulos de natureza musical (Coltheart, 2001).

O sistema melódico é responsável por toda a informação melódica, e discrimina entre três componentes essenciais: o contorno (a direção das alterações de tom), os intervalos (a diferença de frequência entre tons sucessivos) e a escala (ou codificação tonal). A análise global da melodia, que corresponde ao seu contorno, permite a análise mais local dos intervalos melódicos, os quais possibilitam a emergência do conhecimento escalar implícito. Por sua vez, o sistema temporal é responsável por localizar a melodia processada pelo sistema melódico no tempo através de dois processos: ritmo (agrupamento de eventos de acordo com a sua proximidade temporal) e métrica (número de batidas principais e secundárias por unidade de tempo). A análise métrica corresponde à batida espontânea com o pé, e tem por isso uma conexão direta com este output (Peretz & Coltheart, 2003).

Em ambas as vias, melódica e temporal, são definidas as componentes de análise musical, e os dois conjuntos de informação (ou uma combinação da informação reunida pelos dois sistemas) são enviados para um de dois componentes: o léxico musical – criando um repertório musical – ou a análise da expressão emocional. O repertório musical é composto por representações de frases musicais às quais o sujeito foi exposto durante a sua vida. O mesmo sistema mantém um registo de qualquer novo input musical. Por conseguinte, qualquer reconhecimento de uma melodia familiar está dependente do processo de seleção que ocorre no léxico musical (Peretz & Coltheart, 2003).

O output do léxico musical pode ativar dois sistemas diferentes, dependendo dos requisitos da tarefa: se o objetivo for cantar uma canção familiar, então a melodia correspondente, representada no léxico musical, será empareirada com a sua letra armazenada no léxico fonológico, e será organizada e planeada de forma adequada à produção vocal; se a tarefa solicitar informação não musical acerca da peça como

nomear o seu autor ou recuperar uma experiência passada associada, a componente de memória associativa será ativada. A ativação bem sucedida do repertório produz uma sensação de familiaridade que leva ao reconhecimento, mesmo que a identificação da música não seja possível (Peretz & Coltheart, 2003).

Paralelamente aos processos de memória, os módulos perceptivos de processamento melódico e temporal passam a sua informação à componente de análise da expressão emocional, permitindo o reconhecimento e experiência da emoção evocada pela peça (Peretz, 2001). Esta via emocional também contribui para o reconhecimento da música pelo léxico musical. O sistema toma como input certas características musicais específicas que surgem da análise nas vias melódica e temporal, a saber o tipo de escala (maior ou menor, varia de acordo com a posição dos tons e meio tons da escala e a sua relação com a nota tónica) e o *tempo* (rápido ou lento), respetivamente.

A Montreal Battery of Evaluation of Amusia

O modelo de perceção e memória musical proposto por Peretz e Coltheart (2003) permitiu o desenvolvimento por parte de investigadores prestigiados em Montreal, Canadá, de um instrumento de avaliação das competências musicais (Peretz, Champod & Hyde, 2003): a *Montreal Battery of Evaluation of Amusia* (MBEA). A MBEA difere de outras baterias de avaliação das competências musicais já existentes, como o *Gordon's Musical Aptitude Profile* (Gordon, 1965) ou os testes de habilidade musical de *Seashore* (Seashore, Lewis & Saetveit, 1960), em vários aspetos. Em primeiro lugar, o objetivo da MBEA é a avaliação de competências que surgem naturalmente no ser humano, enquanto os outros instrumentos procuram avaliar a proficiência musical em indivíduos especializados – por exemplo, o *Gordon's Musical Aptitude Test* é utilizado para a identificação de talento musical em crianças. A MBEA não tem como objetivo a identificação de um talento especial, mas sim a identificação de um défice, nomeadamente nas capacidades perceptivas e mnésicas musicais (Peretz, Champod & Hyde, 2003).

Em segundo lugar, a MBEA tem uma motivação teórica ao ser construída com base num modelo cognitivo. Por consequência, a MBEA permite uma avaliação de várias competências perceptivas em isolamento, ao contrário de outros instrumentos que

tendem a avaliar várias capacidades simultaneamente (Peretz, Champod & Hyde, 2003). Assim sendo, esta bateria permite a identificação de vários tipos de amusia ao avaliar as capacidades musicais relacionadas com as seis componentes de processamento musical apresentadas no modelo de Peretz e Coltheart (2003).

A MBEA é composta por seis testes: contorno, intervalo, escala, ritmo, métrica e memória musical. Em relação ao sistema melódico, o teste de contorno avalia a percepção da forma global da melodia que se cria a partir da direção das sequências de tons. O teste de intervalo avalia a percepção da distância entre dois tons sucessivos. Já o teste de escala avalia a codificação tonal de uma melodia, e está relacionada com as funções dos tons e estruturas harmónicas. Em relação ao sistema temporal, o teste de ritmo avalia a percepção de agrupamento dos eventos de acordo com a proximidade temporal de sons consecutivos. O teste de métrica avalia a percepção global do domínio temporal relativamente à regularidade temporal ou batida da peça. Por fim, o teste de memória musical avalia a capacidade de reconhecimento de frases musicais após um armazenamento implícito. Trata-se de um teste de memória incidental, uma vez que os sujeitos não são informados antecipadamente de que irão realizar um teste de reconhecimento das melodias ouvidas (Peretz, Champod & Hyde, 2003). Os testes são descritos em maior pormenor na secção de materiais, no método.

Várias investigações já recorreram à MBEA para o estudo de populações clínicas com várias etiologias (Peretz, 1990; Peretz et al., 1994; Peretz, 1996; Liégeois-Chauvel, 1998; Ayotte et al., 2000; Steinke, Cuddy & Jakobson, 2001) e para a avaliação diversos tipos de amusia (Peretz, 1990; Peretz et al., 1994; Ayotte et al., 2000), demonstrando a utilidade da bateria para este propósito. A MBEA foi normalizada e validada em vários estudos (Ayotte, Peretz & Hyde, 2002; Peretz et al., 2002; Peretz, 2003; Peretz, Champod & Hyde, 2003), e incluindo amostras de países para além do Canadá (Nunes, Loureiro, Loureiro & Haase, 2010 normalizaram e validaram a bateria para a população de Belo Horizonte).

No seu estudo de normalização (indivíduos saudáveis com 14-79 anos de idade e 7-21 anos de escolaridade), Peretz, Champod e Hyde (2003) verificaram que embora os resultados obtidos para cada teste sejam assimétricos – ligeiramente enviesados à direita – o índice obtido pela média de cada indivíduo em todos os seis testes segue uma distribuição normal, com apenas 2% dos sujeitos a obter um resultado dois desvios

padrão inferior à média, e 3% a obter um resultado perfeito. Os autores concluem que este índice total é por isso adequado para a avaliação da percepção e memória musical.

Quanto à sua validação, o instrumento demonstrou ter valor diagnóstico para a amusia congénita (Peretz, Champod & Hyde, 2003), sendo que 89% dos doentes obteve um índice total inferior em dois desvios padrão à média obtida por sujeitos saudáveis. Em cada teste individual, os resultados obtidos por indivíduos com amusia foram também, em média, inferiores aos obtidos por sujeitos saudáveis. Os autores demonstraram ainda valores satisfatórios de estabilidade teste-reteste ($r = 0,53$; $p < 0,001$), e de validade concorrente com o *Gordon's Musical Aptitude Scale* ($r = 0,75$; $p < 0,01$).

Importa salientar que cada indivíduo com amusia congénita não exibiu desempenhos deficitários em todos os testes da bateria – por exemplo, alguns sujeitos obtiveram resultados dentro da média nos testes melódicos, mas resultados deficitários nos testes temporais, e vice-versa (Peretz, Champod & Hyde, 2003). Os resultados dos doentes nos testes melódicos correlacionaram-se entre si, mas nenhum dos testes melódicos se correlacionou com o teste de métrica – corroborando o modelo de percepção e memória musical de Peretz e Coltheart (2003). Desta forma, reforça-se a ideia de que a MBEA avalia diversos aspetos do processamento musical. Estas correlações evidenciam ainda que a amusia congénita não representa simplesmente a ponta esquerda da curva normal, isto é, a zona inferior de um contínuo de capacidades musicais na população. Se fosse esse o caso, indivíduos com amusia teriam resultados inferiores em todos os testes da bateria, ou resultados inferiores em apenas certos testes mas de uma forma homogénea. Pelo contrário, a amusia congénita parece ser uma condição heterogénea, havendo um comprometimento de diferentes mecanismos no processamento musical tal como sucede com a amusia após lesão cerebral.

Por fim, a bateria apresenta algumas limitações: cinge-se à avaliação das capacidades percetivas e mnésicas, sem dar conta da produção musical; não é avaliada a componente emocional da música; e o tempo de aplicação é extenso.

Afinal, são os músicos um caso especial?

Até aqui apresentámos a evidência que sugere uma origem biológica das capacidades musicais, e revimos vários estudos que apontam para a cognição musical

como uma função modular assente em mecanismos neurais específicos, e que uma lesão a um destes mecanismos ou o seu desenvolvimento incorreto leva ao comprometimento seletivo de certos aspetos do processamento musical. Contudo, a forma como o nosso cérebro recorre a determinadas redes neurais para desempenhar uma dada função nem sempre permanece a mesma ao longo da nossa vida.

Uma propriedade notável do córtex cerebral é a sua capacidade de se auto-organizar em resposta a estímulos externos, como verificou Hebb (1949). Mais especificamente, Hebb propôs que a atividade pré e pós-sináptica contribui para o fortalecimento da conectividade sináptica, e aplicou este princípio a diversas áreas da neuroplasticidade, e particularmente à plasticidade do córtex visual. No entanto, os princípios Hebbianos aplicam-se também ao domínio auditivo em geral, e ao processamento musical em particular (Rauschecker, 2003).

A privação de uma modalidade sensorial, como por exemplo a visão, pode resultar numa reorganização de outros sentidos como o tacto ou a audição (Rauschecker, 1995; Singer, 1995). Vários estudos demonstram que indivíduos com cegueira conseguem localizar sons com maior precisão (Lessard, Paré, Lepore & Lassonde, 1998; Röder et al., 1999). Estão bem relatados casos de compensação das capacidades auditivas em indivíduos com cegueira, incluindo por vezes uma melhoria nas capacidades musicais (e.g. Stevie Wonder). E dado que a nossa experiência com o mundo sonoro irá inevitavelmente influenciar o nosso cérebro, o estudo da neuroplasticidade no âmbito das capacidades musicais deve também incidir sobre os músicos (Rauschecker, 2003).

Os músicos proficientes desempenham regularmente operações físicas e mentais complexas, tais como a tradução de símbolos musicais em operações motoras complexas que incluem movimentos independentes das mãos, dedos e pés, a memorização de extensas frases musicais, ou a identificação de tons sem qualquer referência. Este elevado nível de perícia é apenas possível graças ao treino exaustivo, de preferência a partir de uma tenra idade, e muitas vezes com o auxílio de aulas de música.

Como sugerem as investigações em modelo animal, a experiência tem o potencial para moldar redes neurais de forma a que estas aumentem ou diminuam fisicamente de tamanho, dependendo dos estímulos e do nível estrutural de análise (Münste, Altenmüller & Jäncke, 2002). Assim sendo, é expectável que se encontrem diferenças

estruturais em certas zonas do córtex de um músico profissional em relação a um sujeito sem formação musical, sendo o córtex motor um dos principais candidatos.

Após aprenderem um exercício de cinco dedos ao piano ao longo de cinco dias, um grupo de sujeitos apresentou um aumento da área cortical motora que representa os extensores e flexores de um dos dedos (Pascual-Leone et al., 1995). Karni e colaboradores (1995) corroboram estes resultados ao demonstrar alterações na representação de movimentos no córtex motor primário em sujeitos que treinaram uma tarefa que implica uma sequência de dedos, e que estas alterações se correlacionaram com o desempenho na tarefa. Quanto aos músicos profissionais, estudos recorrendo a Ressonância Magnética demonstram um aumento estrutural do córtex motor, bem como uma maior simetria entre os córtices motores dos dois hemisférios (Gaser & Schlaug, 2003a; ver também Amunts et al., 1997), alterações no córtex auditivo (Schneider et al., 2002), e no córtex somatossensorial (Gaser & Schlaug, 2003a). Adicionalmente, um estudo verificou que instrumentistas de cortas possuem representações sensoriais corticais para a mão esquerda (a mão que dedilha) maiores do que não músicos, mas o mesmo não acontece para a mão direita (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstroh & Taub, 1995).

Estão também descritas alterações em outras estruturas relacionadas com o controlo motor. O tamanho do cerebelo relativamente ao resto do cérebro é significativamente maior em músicos do que não músicos¹⁴ (Hutchinson, Lee, Gaab & Schlaug, 2003; Schlaug, 2003). Também se registam diferenças quanto ao corpo caloso: a sua porção anterior é significativamente maior em músicos, particularmente para quem começou a instrução formal antes dos sete anos; e os músicos apresentam uma conectividade mais elevada, com um maior número de fibras a atravessar o corpo caloso para as regiões frontais motoras, e regiões pré-frontais (Schlaug, Jäncke, Huang & Steinmetz, 1995). Músicos profissionais apresentam ainda concentrações mais elevadas de substância cinzenta na região peri-rolândica, região pré-motora, região parietal posterior superior, regiões peri-sílvicas posteriores mediais bilateralmente, e no cerebelo (Gaser & Schlaug, 2003b).

¹⁴ Curiosamente, esta diferença apenas se verificou em músicos do sexo masculino, ver Schlaug (2003).

Sobre a relação causal entre as alterações estruturais e a proficiência musical, as alterações cerebrais parecem surgir devido ao treino musical, não sendo estas diferenças que permitem previamente um nível mais alto de conseguimento. Assim o sugere a correlação entre as alterações estruturais e a idade em que começou a aprendizagem formal (Amunts et al., 1997) e a intensidade de treino (Gaser & Schlaug, 2003b; Bengtsson et al., 2005).

São também evidentes diferenças entre músicos e não músicos ao nível funcional durante a realização de tarefas musicais perceptivas, sendo as mais pronunciadas nas regiões peri-silvicas (Mazziotta, Phelps, Carson & Kuhl, 1982; Altenmüller, 1986; Besson, Faita & Requin, 1994; Pantev et al., 1998; Stewart et al., 2003; Gaab, Gaser & Schlaug, 2006; Chen, Penhune & Zatorre, 2008; Grahn & Rowe, 2009). Em geral, à medida que aumenta a proficiência musical, a ativação cerebral tende a lateralizar-se para o hemisfério esquerdo (e.g. Bever & Chiarello, 1974).

Estas alterações funcionais não se limitam ao controlo motor. Por exemplo, a resposta eletrofisiológica medida por Magnetoencefalografia a tons tocados ao piano é significativamente maior em músicos (Pantev et al., 1998; ver também Fujioka, Trainor, Ross, Kakigi & Pantev, 2004), e parece também ser exacerbada para o timbre do próprio instrumento (Pantev, Engelen, Candia & Elbert, 2003; Tervaniemi, 2003). Os substratos neurais do processamento e perceção musicais refletem em grande medida a forma de ouvir música (Altenmüller, 2003), e as estratégias cognitivas a que o ouvinte tem acesso (e.g. Altenmüller, 1989; Zhao, Lam, Sohi & Kuhl, 2017). Aliás, o próprio tipo de educação musical pode ter influência sobre os padrões de ativação cerebral durante a realização de tarefas de perceção musical (Altenmüller, Gruhn, Parlitz & Kahrs, 1997).

Assim sendo, parece que a perceção musical é, pelo menos em certa medida, diferente em músicos. É por isso razoável questionar se músicos proficientes, tendo treinado estas capacidades exaustivamente, conseguem obter um desempenho na MBEA superior ao de indivíduos sem qualquer formação musical.

Convém lembrar que tanto o modelo de perceção e memória musical proposto por Peretz e Coltheart (2003), como o instrumento de avaliação destas capacidades desenvolvido por Peretz, Champod e Hyde (2003), pretendem referir-se às capacidades musicais inerentes a qualquer ser humano com um desenvolvimento cerebral normal e

envolvido num ambiente adequado, e não à proficiência musical influenciada pela aprendizagem formal. Segundo os seus autores, a MBEA avalia competências nas quais todos somos profissionais, simplesmente por sermos dotados de determinados mecanismos cerebrais e por estarmos imersos na nossa cultura. Deste ponto de vista, não serão expectáveis diferenças entre indivíduos com diferentes níveis de perícia musical. Aliás, no estudo original de normalização da MBEA os autores não especificam se a amostra inclui ou não músicos com algum nível de proficiência, pois tal seria irrelevante (desde então, outros estudos têm recorrido explicitamente a amostras de indivíduos sem formação musical, e.g. Nunes-Silva & Haase, 2013).

Esta conceção das capacidades musicais, incluindo a sua perceção e memória, advém do seu enquadramento enquanto fenómeno biológico: uma capacidade transversal e universal, codificada geneticamente, com uma origem evolutiva, e uma função cognitiva modular. Em relação a este último ponto, a cognição musical parece cumprir requisitos importantes como o inatismo, a especificidade de domínio e substratos neurais fixos. Note-se, no entanto, que na perspetiva clássica Fodoriana (Fodor, 1983) outra propriedade essencial para uma função ser considerada modular é o encapsulamento de informação – tendo como consequência a independência em relação a influências externas, entre as quais a aprendizagem. Ou seja, no caso de músicos com algum nível de proficiência musical conseguirem obter um desempenho na MBEA superior ao de sujeitos sem formação musical, este instrumento não estará a avaliar, à partida, um constructo modular no sentido Fodoriano.

Diversos autores referem a incompatibilidade entre a neuroplasticidade de um cérebro dinâmico e a modularidade (e.g. Ramachandran & Blakeslee, 1998; Panksepp & Panksepp, 2000) e Buller e Hardcastle (2000) sublinham que “a plasticidade cerebral contradiz a noção de modularidade encapsulada¹⁵”. Em contrapartida, outros proponentes da existência de “modularidade massiva” argumentam que no caso de sistemas centrais, como sejam funções nervosas superiores e sistemas envolvidos em inferência, raciocínio e tomada de decisão, é absolutamente expectável que haja interação e integração de informação proveniente de várias fontes – e que tal não é incompatível com a modularidade do sistema. Por exemplo, Barrett (2005) encara os

¹⁵ Traduzido pelo aluno. É também uma questão de debate se a neuroplasticidade associada a uma função nervosa é compatível com o seu inatismo, ver Silvers (2007).

agentes externos simplesmente como outro tipo de input, ao qual o módulo tem acesso mas que não chega a ser processado (ver Barrett & Kurzban, 2006). Nesta perspectiva, é concebível que um módulo tenha especificidade de domínio, mas que não seja totalmente encapsulado. Vários estudos relatam uma influência de processos *top-down* como a atenção ou fatores externos como o contexto em funções, centrais ou periféricas, tidas como modulares (MacDonald & McGurk, 1978; Cosmides, 1989; Shepard, 1990; Cosmides & Tooby, 1992; Gigerenzer & Hug, 1992; Sperber, Cara & Girotto, 1995; Wojciulik, Kanwisher & Driver, 1998; Rozin, Haidt & McCauley, 1999; Fiddick, Cosmides & Tooby, 2000; Kaufman & Kaufman, 2000; Sperber, 2005).

Posto isto, o presente estudo assume o objetivo de averiguar se a MBEA avalia de facto um constructo biológico e universal ao comparar o desempenho no instrumento entre músicos (definidos como pessoas com uma extensa aprendizagem formal de música, tendo atingido um nível razoável de proficiência) e sujeitos sem qualquer formação musical. Este estudo insere-se num projeto mais amplo que procura estabelecer as normas de desempenho e avaliar as características psicométricas da MBEA junto da população portuguesa. Não existe nenhum estudo semelhante para esta população de que tenhamos conhecimento, e a adaptação da bateria poderá auxiliar o desenvolvimento da investigação na área da cognição musical em Portugal.

Em relação ao nosso trabalho e à questão apresentada, podemos formular duas hipóteses contrárias:

- (1) o desempenho na MBEA será independente da aprendizagem musical;
- (2) o desempenho na MBEA será influenciado pela aprendizagem musical.

Ambas as hipóteses são substanciadas por diversas evidências. O suporte teórico da MBEA, o qual assenta na extensa literatura que demonstra a existência de capacidades musicais com uma origem biológica e inata, é sugestivo de que o desempenho seja independente da aprendizagem musical. Em contrapartida, se atendermos à evidência que salienta as ligeiras diferenças estruturais e funcionais cerebrais entre músicos e não músicos, e tendo em conta a influência de fatores externos em outras funções modulares, é plausível que indivíduos com uma formação musical avançada obtenham um melhor desempenho. É ainda possível que haja capacidades musicais naturais e totalmente modulares no sentido Fodoriano como propõem Peretz e

Coltheart (2003), mas que não sejam estas as competências avaliadas pela MBEA, colocando em causa a validade de constructo deste instrumento.

Método

Desenho experimental

Com o propósito de averiguar eventuais diferenças no processamento musical, foi realizado um estudo observacional que comparou o desempenho de sujeitos com e sem qualquer proficiência musical na MBEA. Foram tidas em conta as pontuações obtidas (0-30) em cada um dos testes descritos abaixo, bem como um índice de pontuação global que representa a pontuação média obtida por cada participante em todos os testes. Desta forma, considera-se a aprendizagem musical (com formação ou sem formação) como variável independente, e os resultados obtidos na bateria como variáveis dependentes.

Foram também considerados os anos de instrução musical por parte dos músicos, com vista a investigar a sua correlação com o desempenho na bateria destes participantes.

Participantes

Foram considerados como fatores de exclusão o diagnóstico médico de perturbações graves do neurodesenvolvimento, dificuldades auditivas e perturbações motoras que pudessem prejudicar a realização da prova.

O grupo experimental foi constituído por músicos e estudantes de música em escolas de música na área de Lisboa. Todos os participantes assinaram consentimentos informados, e as aplicações da bateria foram autorizadas pelas escolas. O grupo de controlo incluiu apenas sujeitos sem qualquer formação musical. As subamostras utilizadas para este trabalho foram retiradas da mais ampla amostra de um estudo mais alargado relativo à MBEA, recolhido no âmbito de um estágio no Mestrado de Neurociências Cognitivas e do Comportamento e de outra dissertação no Mestrado de Neuropsicologia. Para obter uma distribuição de idade semelhante nas duas amostras, foi realizado um *data-matching* para esta variável entre 51 músicos e 116 controlos, pedindo um controlo para cada músico, com prioridade para correspondências diretas (em anos de idade), e uma tolerância de 2 anos.

Assim sendo, o grupo experimental incluiu 40 músicos (29 do sexo feminino) com idades entre os 16 e os 61 anos (Média = 24,8; Desvio Padrão = 11,4), e entre 1 e

50 anos de formação musical ($M = 11,4$; $DP = 9,4$); e o grupo controlo foi composto por 40 sujeitos (32 do sexo feminino) sem qualquer formação musical, com idades entre os 18 e os 63 anos ($M = 25,4$; $DP = 11,0$).

Materiais e procedimento

Foi utilizada a versão da MBEA proposta por Peretz, Champod e Hyde (2003), descrita de seguida. Os seis testes que compõem a bateria (contorno, intervalo, escala, ritmo, métrica e memória) recorrem todos ao mesmo conjunto de 30 frases musicais originais, todas compostas de acordo com as regras do sistema tonal ocidental por Irène Deliège, e totalizando 180 itens. O material musical foi propositadamente composto com a complexidade suficiente de forma a garantir que cada excerto é processado como uma frase musical com significado, e não apenas uma simples sequência de tons. Cada excerto tem uma duração entre 3,8 e 6,4 segundos, exceto no teste de métrica em que os estímulos têm o dobro da duração.

Para a avaliação das componentes melódicas foram criados 3 conjuntos de excertos musicais, cada um com 2 ensaios de treino e 30 ensaios experimentais. Na avaliação do contorno, os ensaios são compostos por melodias apresentadas aos pares. Cada ensaio é antecedido por um curto tom de aviso, e é composto por uma melodia-alvo e uma melodia de comparação, separadas por um intervalo silencioso de 2 segundos, havendo um intervalo de 5 segundos entre ensaios. Em metade dos ensaios a segunda melodia tem o seu tom central modificado de forma a alterar a direção dos intervalos adjacentes, mantendo no entanto a sua escala original. As melodias modificadas e não modificadas foram pseudo-randomizadas ao longo dos 30 ensaios, e a tarefa do sujeito consiste em identificar corretamente se cada excerto musical foi ou não modificado. Cada ensaio é cotado com 0 pontos se estiver incorreto, e 1 ponto se estiver correto.

O teste de intervalo é semelhante ao teste de contorno, com a diferença de que, nos itens alterados, a nota é modificada de forma a manter a direção de tom em relação à nota prévia, mantendo o contorno e a escala. Já no teste de escala, a manipulação dos itens modificados consiste na alteração de um tom de forma a que este não pertença à escala do excerto original, mas mantendo o seu contorno. Mais uma vez, a tarefa

consiste em decidir se o segundo excerto musical foi ou não modificado em relação ao primeiro.

O teste de ritmo é semelhante aos testes melódicos no sentido em que nas melodias modificadas os agrupamentos por proximidade temporal foram manipulados alterando-se a duração de duas notas adjacentes, enquanto a métrica e número total de sons da melodia foram mantidos. Para os três testes do sistema melódico e para o teste de ritmo foi incluído um ensaio de engodo: as melodias deste ensaio são completamente diferentes, de forma a certificar que o sujeito está a prestar atenção (a resposta a este ensaio tem de estar correta para que a pontuação da participação seja contabilizada).

Quanto ao teste de métrica, metade das 30 frases musicais foram compostas com uma métrica de dois tempos, e a outra metade com uma métrica de três tempos. É explicado aos sujeitos que os excertos compostos com uma métrica binária correspondem a uma “marcha”, enquanto os excertos com uma métrica a três tempos correspondem a uma “valsa”. Após 4 ensaios de treino, são realizados 30 ensaios experimentais, e em cada um a tarefa consiste em decidir se a melodia apresentada se trata de uma marcha ou de uma valsa. Os sujeitos são encorajados a marcar a batida da música com a mão.

Finalmente, é realizado um teste de memória por reconhecimento. Das 30 frases musicais originais, foram selecionadas 15 para o teste de reconhecimento, sendo que cada uma já foi ouvida anteriormente pelo menos cinco vezes. Em adição a estas frases originais foram preparadas outras 15 “novas” frases musicais, construídas com os mesmos princípios mas variando nos seus padrões tonais e rítmicos exatos. As melodias foram randomizadas, e apresentadas com um intervalo de 5 segundos entre ensaios. A tarefa consiste em responder “sim” se a melodia musical pertence ao grupo original de frases musicais apresentadas anteriormente, e “não” se a melodia for nova.

Todos os participantes assinaram um consentimento informado, e após responderem a um breve questionário sobre a experiência e gostos musicais, realizaram todos os testes numa única sessão pela seguinte ordem: escala, contorno, intervalo, ritmo, métrica e memória. A aplicação dos testes foi realizada a pequenos grupos, em contraste com a aplicação individual feita no estudo de Peretz, Champod e Hyde (2003), e em salas adequadamente preparadas. Dada a duração de cerca de uma hora e meia de

cada sessão, foram permitidos períodos de descanso entre testes de forma a garantir que o desempenho dos participantes não fosse prejudicado pelo cansaço.

Análise estatística

Para o tratamento estatístico dos dados recorreu-se ao software *Statistical Package for Social Sciences* (IBM SPSS Statistics, versão 25). A normalidade da distribuição dos resultados obtidos pelos participantes em ambas as amostras foi averiguada através do teste à normalidade de Shapiro-Wilk. A homogeneidade das variâncias foi avaliada com o teste de Levene. Considerou-se como limiar de significância $p < 0,05$.

Com o propósito de comparar os desempenhos de músicos e sujeitos sem formação musical nos seis testes e no índice de pontuação global, foram realizados os seguintes testes estatísticos, de acordo com os pressupostos verificados nas duas amostras para cada teste (ver Marôco, 2018). Em relação ao parâmetro de intervalo, as variâncias foram homogéneas e distribuição nos dois grupos assemelhou-se à curva normal, pelo que foi realizado um teste-t de Student. Uma vez que para os parâmetros de escala, contorno e ritmo as variâncias foram homogéneas, mas não se verificou o pressuposto de distribuição normal para a realização de testes paramétricos, foi realizado um teste de Wilcoxin-Mann-Whitney. Para os parâmetros de métrica e de memória, não sendo verificados os pressupostos de distribuição normal e variâncias homogéneas entre os dois grupos, foi também aplicado o teste Wilcoxin-Mann-Whitney. Quanto ao índice global, dado que a distribuição nos dois grupos se assemelhou à curva normal mas as suas variâncias foram heterogéneas, foi realizado um teste-t de variâncias heterogéneas (ou teste-t de Welch).

Por fim, foi realizado o teste de correlação de Pearson para verificar a correlação entre os anos de instrução musical por parte dos músicos, e o desempenho obtido na MBEA.

Resultados

Análise descritiva

Os valores de média e desvio padrão dos resultados obtidos por músicos e sujeitos sem formação musical em cada teste da MBEA encontram-se na tabela 1.

Tabela 1: Média (M), desvio padrão (DP), mínimo (Mín.) e máximo (Máx.) das pontuações obtidas (0-30, uma resposta correta corresponde a 1 ponto) nos índices da MBEA por sujeitos com e sem formação musical. O índice global corresponde à média de todos os testes.

Formação Musical		Escala	Contorno	Intervalo	Ritmo	Métrica	Memória	Global
Com (n = 40)	M	28,1	28,1	27,9	28,1	29,3	29,0	28,41
	DP	2,09	1,89	2,50	2,95	1,62	1,12	1,41
	Mín.	19	22	21	14	23	25	24,00
	Máx.	30	30	30	30	30	30	30,00
Sem (n = 40)	M	25,8	26,0	25,4	26,5	23,8	26,8	25,71
	DP	3,34	2,98	3,14	2,53	4,22	2,66	2,22
	Mín.	16	18	17	17	12	17	19,67
	Máx.	30	30	30	29	30	30	28,83

Com base na média dos resultados obtidos por músicos e não músicos em cada teste, podemos observar que o teste de métrica foi por um lado aquele em que os músicos tiveram um melhor desempenho, e por outro aquele em que sujeitos sem formação musical apresentaram piores resultados, sendo esta a medida em que houve a maior diferença entre os dois grupos. A diferença entre os dois grupos foi menor para o teste de ritmo. A média mais baixa por parte dos músicos foi para o teste de intervalo, e a mais alta para os não músicos foi no teste de memória.

Podemos ainda verificar que houve necessariamente sobreposição entre os resultados de músicos e não músicos para todos os índices, uma vez que a pontuação máxima obtida por sujeitos sem formação musical foi superior à pontuação mínima obtida por músicos (e vice-versa). Ainda assim, 38 músicos (92,5%) obtiveram um resultado superior à média dos sujeitos sem formação musical no índice global, e apenas

1 sujeito sem formação musical (2,5%) obteve um resultado superior à média dos músicos (figura 2). O único participante a conseguir a pontuação máxima em toda a bateria pertenceu ao grupo dos músicos.

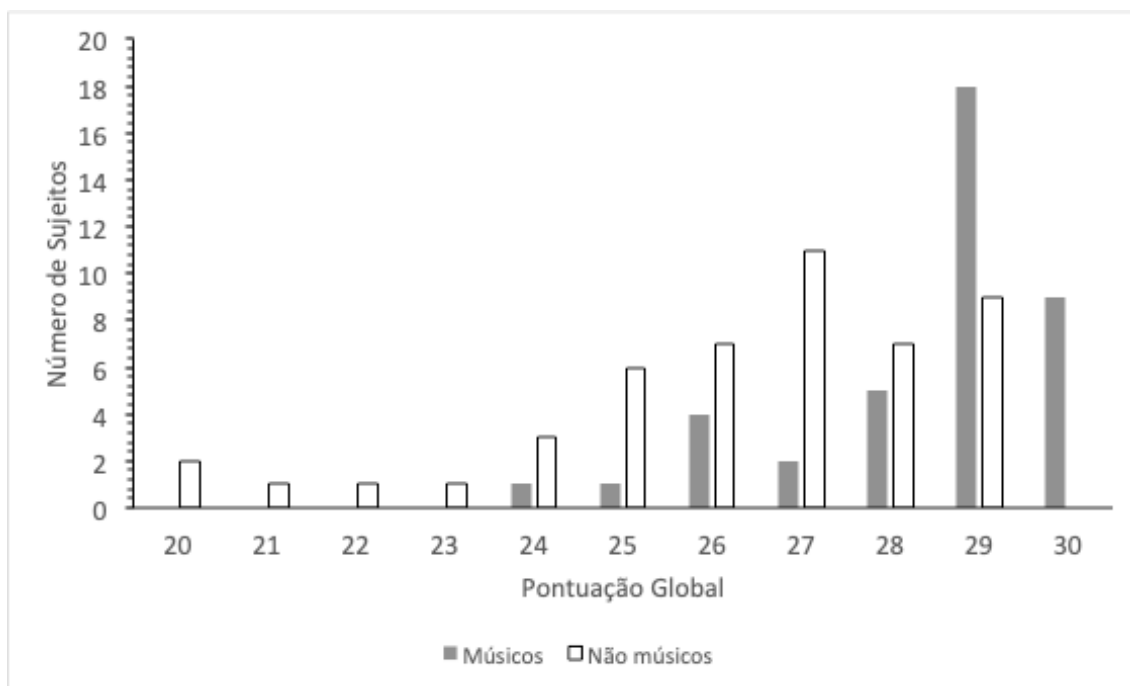


Figura 2: Distribuição da pontuação obtida no índice global (arredondado às unidades) por músicos (n = 40) e não músicos (n = 40) na MBEA.

Foi avaliada a normalidade da distribuição e homogeneidade de variâncias do desempenho em cada teste por parte de músicos e controlos. Para o teste de escala, a distribuição do desempenho não foi normal em músicos (Shapiro-Wilk = 0,771; $p < 0,001$; n = 40) sendo a curva assimétrica à esquerda (Skewness = -2,296) e leptocúrtica (Kurtosis = 8,174), nem em controlos (S-W = 0,829; $p < 0,001$; n = 40) sendo a curva de distribuição simétrica (SK = -1,520) e leptocúrtica (KU = 2,069). As variâncias nos dois grupos foram homogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 3,011$; $p = 0,087$).

Para o teste de contorno, a distribuição do desempenho não foi normal em músicos (S-W = 0,849; $p < 0,001$; n = 40) sendo a curva de distribuição simétrica (SK = -1,395) e leptocúrtica (KU = 2,263), nem em controlos (S-W = 0,885; $p = 0,001$; n = 40) sendo a curva de distribuição simétrica (SK = -1,177) e mesocúrtica (KU = 1,036).

As variâncias nos dois grupos foram heterogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 3,491$; $p = 0,065$).

Quanto ao teste de intervalo, o teste à normalidade da distribuição do desempenho sugeriu que esta não foi normal em músicos ($S-W = 0,794$; $p < 0,001$; $n = 40$) nem em controlos ($S-W = 0,911$, $p = 0,004$; $n = 40$). Contudo, os valores de assimetria e de achatamento no grupo dos músicos ($SK = -1,423$; $KU = 1,157$) e dos controlos ($SK = -1,020$; $KU = 0,688$) sugerem que as distribuições se assemelham à curva normal. As variâncias nos dois grupos foram homogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 1,249$; $p = 0,267$).

Para o teste de ritmo, a distribuição do desempenho não foi normal em músicos ($S-W = 0,634$; $p < 0,001$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição assimétrica à esquerda ($SK = -3,227$) e leptocúrtica ($KU = 13,336$), nem em controlos ($S-W = 0,851$; $p < 0,001$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição simétrica ($SK = -1,446$) e leptocúrtica ($KU = 3,488$). As variâncias nos dois grupos foram homogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 0,063$; $p = 0,802$).

Para o teste de métrica, a distribuição do desempenho não foi normal em músicos ($S-W = 0,489$; $p < 0,001$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição assimétrica à esquerda ($SK = -2,830$) e leptocúrtica ($KU = 7,817$), nem em controlos ($S-W = 0,953$; $p = 0,098$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição simétrica ($SK = -0,674$) e mesocúrtica ($KU = 0,263$). As variâncias nos dois grupos foram heterogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 27,345$; $p < 0,001$).

Para o teste de memória, a distribuição do desempenho não foi normal em músicos ($S-W = 0,797$; $p < 0,001$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição simétrica ($SK = -1,432$) e leptocúrtica ($KU = 2,829$), nem em controlos ($S-W = 0,857$; $p < 0,001$; $n = 40$) sendo a curva de distribuição simétrica ($SK = -1,611$) e leptocúrtica ($KU = 3,598$). As variâncias nos dois grupos foram heterogéneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 11,266$; $p = 0,001$).

Finalmente, no que toca ao índice de pontuação global o teste à normalidade da distribuição sugeriu que esta não foi normal em músicos ($S-W = 0,852$; $p < 0,001$; $n = 40$) nem em controlos ($S-W = 0,885$; $p = 0,001$; $n = 40$). No entanto, os valores de assimetria e de achatamento no grupo dos músicos ($SK = -1,409$; $KU = 1,648$) e dos controlos ($SK = -1,241$; $KU = 0,374$) sugerem que as distribuições se assemelham à

curva normal. As variâncias nos dois grupos foram heterogêneas segundo o teste de Levene baseado na mediana ($F(1, 78) = 5,196; p = 0,027$).

Análise inferencial

Variáveis demográficas

O gênero dos participantes foi independente da aprendizagem musical ($\Phi = 0,088; p = 0,431; n = 80$), e todos os resíduos estandardizados foram inferiores em valor absoluto a 1,96. A idade não foi significativamente diferente em músicos e controles (Mann-Whitney $U = 666,5$; Wilcoxin $W = 1486,5; p = 0,196; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$).

Comparação do desempenho entre músicos e sujeitos sem formação musical

Foram encontradas diferenças em todas as componentes melódicas, temporais e de memória musical entre músicos e controles (figura 3). O teste de Wilcoxin-Mann-Whitney demonstrou diferenças significativas no desempenho entre músicos e sujeitos sem formação musical para o teste de escala (Mann-Whitney $U = 1188,5$; Wilcoxin $W = 2008,5; p < 0,001; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$), e de contorno (Mann-Whitney $U = 1180,5$; Wilcoxin $W = 2000,5; p < 0,001; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$). Para o parâmetro de intervalo, o teste de o teste-t de Student evidenciou diferenças significativas entre grupos ($t(78) = -3,859; p < 0,001$).

Quanto às componentes temporais, o teste de Wilcoxin-Mann-Whitney mostrou diferenças significativas entre grupos para o parâmetro de ritmo (Mann-Whitney $U = 1205$; Wilcoxin $W = 2025; p < 0,001; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$), e de métrica (Mann-Whitney $U = 1474$; Wilcoxin $W = 2294; p < 0,001; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$).

Relativamente ao teste de memória, foram também evidentes diferenças entre os dois grupos segundo o teste de Wilcoxin-Mann-Whitney (Mann-Whitney $U = 1278,5$; Wilcoxin $W = 2098,5; p < 0,001; n_{\text{músico}} = 40, n_{\text{controle}} = 40$).

Finalmente, houve diferenças entre músicos e sujeitos sem formação musical no índice global, como mostra o teste-t de variâncias heterogêneas ($F(66,021) = -6,498; p < 0,001$).

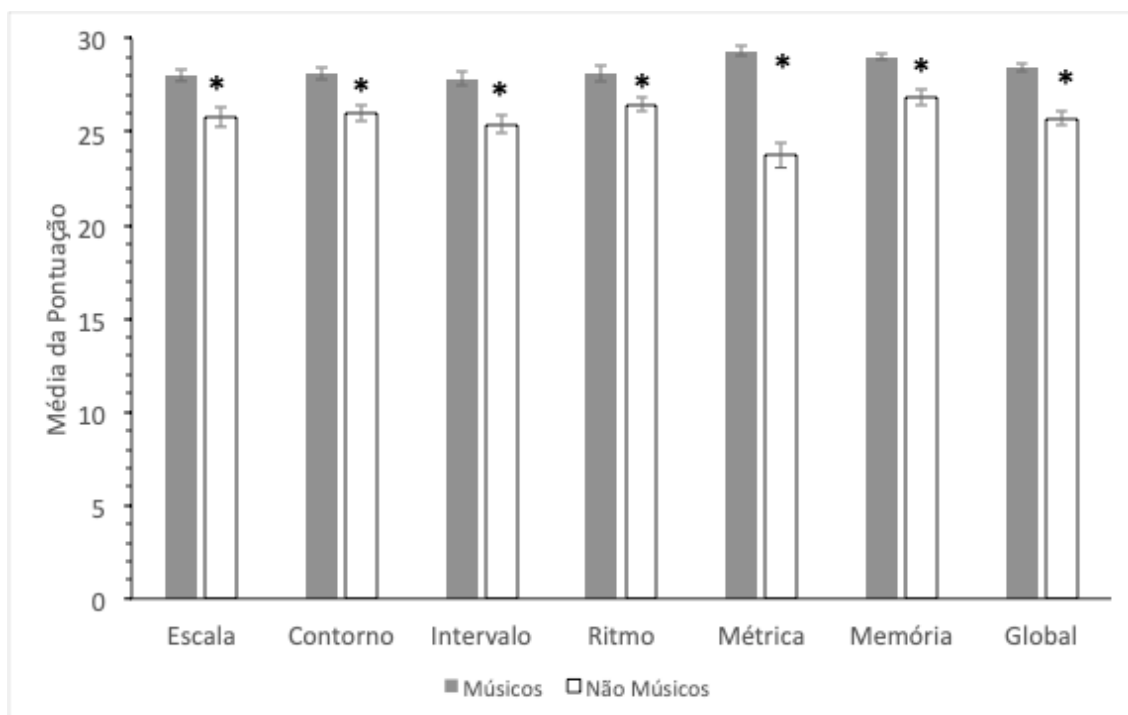


Figura 3: Colunas representam a média e as linhas verticais o erro padrão estandardizado das pontuações obtidas por músicos e não músicos nos seis testes e no índice global da MBEA. As diferenças entre os dois grupos foram significativas em todos os parâmetros.

Correlações com os anos de instrução

No grupo dos músicos, verificou-se uma correlação fraca e positiva entre os anos de instrução musical e: o desempenho obtido no teste de escala ($r = 0,313$; $p = 0,049$; $n = 40$), e o índice de pontuação global ($r = 0,357$; $p = 0,024$; $n = 40$). Não atingiu significância estatística a correlação entre os anos de instrução musical dos músicos e: o teste de contorno ($r = 0,282$; $p = 0,078$; $n = 40$), o teste de intervalo ($r = 0,287$; $p = 0,073$; $n = 40$), o teste de ritmo ($r = 0,142$; $p = 0,383$; $n = 40$), o teste de métrica ($r = 0,255$; $p = 0,112$; $n = 40$), nem o teste de memória ($r = 0,257$; $p = 0,109$; $n = 40$).

Embora tenha havido uma correlação moderada entre os anos de instrução e a idade dos músicos ($r = 0,556$; $p < 0,001$; $n = 40$), esta não se correlacionou com a pontuação conseguida em nenhum dos testes.

Discussão

No nosso estudo procurámos averiguar se o desempenho na MBEA, uma suposta medida das capacidades musicais inatas, era influenciado pela aprendizagem musical. Verificámos que músicos e estudantes de música obtiveram melhores resultados em todos os testes da MBEA em comparação com sujeitos sem qualquer formação musical, não havendo diferenças demográficas entre os grupos. Observámos ainda uma correlação fraca mas positiva entre os anos de formação musical e o desempenho global na MBEA, implicando esta variável no efeito da aprendizagem musical no desempenho. Estes resultados sugerem que a bateria proposta por Peretz, Champod e Hyde (2003) não tateia apenas um constructo biologicamente determinado, mas também competências passíveis de serem adquiridas ou aperfeiçoadas pelo treino e aprendizagem formal.

A concepção de um conjunto de capacidades musicais como universais, biológicas e modulares continua a ser um tópico de discussão. Há evidências sugestivas de que algumas capacidades musicais são inatas (Trehub, 2003) e com uma inscrição genética (Peretz, Cummings & Dubé, 2007; Peretz, 2013), de carácter universal (Cross, 2003) e que tenham surgido devido a pressões evolutivas (Huron, 2003). Alguns autores chegam a equacionar a cognição musical como um exemplo da organização modular massiva do cérebro (Peretz & Coltheart, 2003), focando-se em estudos que demonstram a especificidade de domínio e os substratos neurais fixos desta função. Há variados exemplos de tarefas com um carácter implicitamente musical em que músicos e não músicos obtêm resultados semelhantes (Bigand, 1990; Bigand et al., 2003; Dalla Bella & Peretz, 2005; Bigand & Poulin-Charronnat, 2006; Racette & Peretz, 2007). Deste ponto de vista, é surpreendente que o desempenho num instrumento que pretende medir uma capacidade básica de perceção e memória musical comum a todos os seres humanos (Peretz, Champod & Hyde, 2003) sofra influência da aprendizagem formal.

Por outro lado, músicos treinam exaustivamente operações musicais complexas, entre as quais a memorização de extensas frases musicais, a identificação de tons sem qualquer referência, bem como das escalas a que estes pertencem, ou a marcação rítmica de uma peça para a identificação do tempo correto de entrada. Assim sendo, e considerando a plasticidade do cérebro humano, é compreensível que o seu desempenho em tarefas que se assemelham a exercícios praticados quase diariamente seja mais

conseguido, especialmente se tivermos em conta os estudos imagiológicos funcionais que sugerem diferentes estratégias cognitivas em tarefas de percepção musical (e.g. Altenmüller, 1989; Altenmüller, 2003; Zhao et al., 2017).

Adicionalmente, verificámos que o desempenho global na MBEA por parte dos músicos se correlacionou positivamente com os anos de instrução musical. Esta correlação sugere que a nossa amostra de estudantes de música e músicos profissionais não representa meramente o extremo da curva normal de distribuição das capacidades musicais pela população. Isto é, a diferença entre músicos e sujeitos sem formação musical não tem origem numa predisposição musical por parte do primeiro grupo, a qual teria levado os sujeitos com melhores competências musicais a optar *a priori* por participar em aulas de música ou enveredar por uma carreira musical. Pelo contrário, as diferenças observadas devem-se à aprendizagem formal, a qual exerce a sua influência continuamente à medida que aumenta de duração.

Alguns estudos imagiológicos enaltecem o papel da idade de começo da aprendizagem formal (Amunts et al., 1997) e da intensidade do treino (Gaser & Schlaug, 2003b; Bengtsson et al., 2005) nas alterações estruturais verificadas no cérebro de músicos. A correlação entre os anos de instrução e o desempenho global na MBEA é, em parte, a tradução deste exemplo de neuroplasticidade, verificado num contexto de teste.

Um efeito de treino foi já observado quanto ao desempenho na MBEA por Whiteford e Oxenham (2018). Os autores verificaram, junto de pessoas com amusia e controlos saudáveis, uma melhoria no resultado global na bateria após um treino psicofísico envolvendo uma tarefa de discriminação de tons puros. A relevância global deste estudo deve-se ao facto de vários sujeitos com amusia terem conseguido, após o treino, pontuações superiores ao ponto de corte para o diagnóstico de amusia estabelecido por Peretz, Champod e Hyde (2003), e de estas alterações se terem mantido após o período de um ano, embora as pessoas com amusia tenham obtido sempre pontuações em média inferiores a controlos (Whiteford & Oxenham, 2018; ver também Whiteford & Oxenham, 2019).

Os resultados de Whiteford e Oxenham (2018) relacionam-se com o nosso trabalho ao evidenciar a possibilidade de melhorar o desempenho na MBEA através da prática de uma determinada tarefa. Contudo, trata-se de uma tarefa específica, treinada

em contexto laboratorial, e que ao envolver apenas a distinção entre tons puros individuais se distancia daquilo a que chamamos “música” – pelo que o nosso estudo se destaca ao demonstrar que o desempenho na bateira pode também ser melhorado através da aprendizagem formal da música na sua generalidade.

Embora coloquem em evidência o melhor desempenho de músicos em relação a sujeitos sem formação musical, os nossos resultados não devem ser interpretados como justificativos da posição de Wolpert (1990, 2000) e Francès, Zenatti e Imberty (1979), de que as capacidades musicais são apenas adquiridas através do treino intensivo, e que se mantêm pouco desenvolvidas na ausência de aprendizagem formal da música. Não refutamos necessariamente a ideia de que a música tem uma origem biológica e inata – proponentes da modularidade massiva, como Barret (2005), admitem que funções nervosas superiores consideradas modulares não sejam completamente encapsuladas. Está amplamente demonstrado que o treino exerce influência sobre as funções cognitivas (Willis & Schaie, 1986), ocorrendo em certas circunstâncias uma transferência das capacidades treinadas para outras tarefas (Green & Bavelier, 2008; Nguyen, Murphy & Andrews, 2019). Este é, aliás, um dos pressupostos da reabilitação neuropsicológica (Aram & Eisele, 1992; Guerreiro, 2014; Rebok et al., 2014; mas ver também Cicerone et al., 2011).

É ainda prática corrente em avaliação neuropsicológica incluir os anos de educação formal nas normas de instrumentos de avaliação das funções cognitivas (e.g. *Addenbrooke’s Cognitive Examination – Revised* (Mioshi, Dawson, Mitchell, Arnold & Hodges, 2006); *Auditory Verbal Learning Test* (Cavaco et al., 2015)) – funções essas de carácter biológico – reconhecendo-se a influência que esta variável tem no desempenho (e em contexto clínico, o desempenho pré-mórbido) nestas provas (Heaton, Miller, Taylor & Grant, 2004; Strauss, Sherman & Spreen, 2006; Lezak, Howieson, Bigler & Tranel, 2012). Neste sentido, e embora o objetivo do presente trabalho não tenha sido o estabelecimento das normas da MBEA e pontos de corte para o diagnóstico de amusia, acrescentamos com base nos resultados obtidos que estas devem provavelmente atender aos anos de instrução musical dos sujeitos avaliados.

Em relação às capacidades musicais naturais presentes universalmente, incluindo em sujeitos sem formação musical, dois aspetos merecem ser realçados. Em primeiro lugar, e à semelhança do que se verificou no estudo de Peretz, Champod e Hyde (2003),

todos os sujeitos sem formação musical conseguiram resultados na bateria consistentemente superiores aos que seriam obtidos por mero acaso. Ou seja, mesmo os não músicos demonstraram ter algumas capacidades implícitas de percepção e memória musical.

A isto se acrescenta que houve sobreposição dos desempenhos obtidos por músicos e não músicos em todos os testes (como indicam os valores máximos e mínimos da tabela 1), bem como no índice global (figura 2). Quer isto dizer que o nível de aprendizagem musical não é absolutamente determinante em relação ao desempenho na MBEA. É provável que haja uma contribuição de outros elementos, sejam eles fatores biológicos, ambientais ou culturais.

De facto, é importante questionarmo-nos sobre a validade de constructo da MBEA. Não pretendemos contestar que a MBEA se refira às capacidades de percepção e memória musical – esta noção é até de certa forma reforçada, na medida em que os indivíduos que praticam estas mesmas competências conseguiram melhores resultados. Nem tão pouco podemos refutar que a bateria seja adequada para o diagnóstico de amusia adquirida ou congénita, como propõem Ayotte, Peretz e Hyde (2002), ou para o diagnóstico diferencial entre vários tipos de amusia. Porém, surgem dúvidas relativamente à validade de constructo da MBEA ao demonstrar-se que as capacidades de percepção e memória musical especificamente avaliadas pelo instrumento não são inteiramente inatas. Claro, tal não significa que o ser humano não seja também dotado de capacidades musicais inatas e biológicas – mas não é apenas esse o constructo que a MBEA avalia.

A razão exata pela qual a bateria não tateia somente capacidades biológicas é uma questão em aberto. É possível que as 30 frases musicais especificamente compostas para a bateria sejam de uma maior complexidade do que o pretendido, e que seja necessário um maior nível de competência musical para perceber e codificar as frases corretamente. Uma análise item a item do desempenho, algo que não foi possível com o método de codificação de dados adoptado no nosso estudo, poderia revelar dificuldades persistentes em certas frases musicais por parte dos sujeitos sem formação musical, sugerindo a sua maior complexidade. Contudo, esta explicação parece-nos pouco plausível dada a simplicidade dos excertos musicais – fossem os estímulos mais

simples, e correr-se-ia o risco de serem processados meramente como estímulos auditivos.

Podemos também especular sobre esta questão com base nas diferenças observadas entre testes. Embora tenha havido diferenças significativas em todos os testes, a diferença entre as médias nos dois grupos foi superior para o teste de métrica. É plausível que a componente da métrica seja a mais artificial – e com isto queremos dizer menos natural, mas sem descurar que seja um elemento parcialmente codificado na biologia humana – das seis componentes testadas pela MBEA. Trata-se de uma abstração, um exercício quase matemático, sendo necessário dividir o tempo da música de maneira que a sua estrutura geral ganhe um maior sentido. Aliás, ligeiras variações na forma como se entende a métrica são encontradas em certas culturas: o povo de Potosí do norte, Bolívia, marca o tempo da música com batidas do pé de forma notavelmente diferente de ouvintes ocidentais (Stobart & Cross, 2000; Cross, 2003). Com efeito, entende-se que esta componente seja a que mais beneficia da aprendizagem musical, apesar da tentativa de Peretz, Champod e Hyde (2003) de apelar à corporalização natural do ouvinte (sugerindo que se marque o tempo das frases musicais com a mão).

Por sua vez, o teste no qual houve uma menor diferença entre as médias dos dois grupos, isto é, que menos beneficiou da aprendizagem formal, foi o de ritmo. Este resultado pode não ser aleatório. Se pensarmos na música instrumental praticada pelo Homem em tempos primitivos (e.g. no período Pleistoceno), esta recorreria provavelmente a simples tambores e maracas, atribuindo-lhe um forte carácter rítmico. Pode muito bem ser que a componente rítmica seja a que está mais fortemente enraizada na biologia humana.

Vale a pena recordar como grande parte das teorias acerca do valor adaptativo da música (Huron, 2003) se focam nos seus benefícios sociais, como a promoção da coesão social e coordenação entre o grupo através da sincronização do comportamento e das emoções. Ora, a componente rítmica da música é a que mais contribui para esta mesma sincronização. Na produção musical em grupo, como aliás terá sido praticada durante a maior parte de História, será certamente mais fácil que indivíduos sem formação musical mantenham o mesmo ritmo (especialmente se for um ritmo simples) do que garantir que todos os elementos estejam a cantar no mesmo tom ou na mesma escala. É

notável, por exemplo, a facilidade e automaticidade com que as pessoas numa sala de concertos ou num auditório, ao aplaudir os artistas, conseguem bater palmas sincronizadamente.

Outra situação em que a música poderá ter exercido um papel adaptativo é na relação entre mãe e filho (Standley & Moore, 1995; Kogan, 1997; Trehub, Hill & Kamenetsky, 1997; Trehub & Trainor, 1998; Brown, 2000; Dissanayake, 2000). Uma componente distintiva das canções de embalar tem justamente que ver com o seu ritmo, sendo este significativamente mais lento (Trainor, Clark, Huntley & Adams, 1997; Trehub et al., 1997). Ainda para mais, o ritmo é claramente importante no próprio ato de embalar uma criança para que esta adormeça.

Poder-se-ia propor que o ritmo é a componente “mais biológica” das apresentadas no modelo de Peretz e Coltheart (2003) devido à sua base na motricidade (e.g. Schwartz & Kotz, 2013), a qual agiria como nivelador entre músicos e não músicos. Todavia, esta proposta deixaria por explicar porque razão a diferença no teste de métrica é tão vasta. Recordamos também a evidência de que o ritmo é processado no hemisfério esquerdo (Ibbotson & Morton, 1981), precisamente o hemisfério em que se observa uma maior ativação por parte de músicos proficientes (Bever & Chiarello, 1974), o que é consistente com uma perícia natural por parte de não músicos. Ainda assim, sublinhamos que o nosso resultado mais relevante é a influência da formação musical no desempenho em todos os testes da MBEA, incluindo o ritmo.

Concluindo, ao comparar o desempenho na MBEA por parte de músicos e sujeitos sem qualquer formação musical verificámos que o desempenho na bateria é influenciado pela aprendizagem musical, sendo as pontuações dos estudantes de música e músicos profissionais significativamente superiores em todos os testes. Ainda para mais, o índice global dos músicos correlacionou-se positivamente com os anos de instrução musical, indicando que as diferenças não se devem meramente a predisposições musicais. Estes resultados implicam que os anos de aprendizagem musical devam ser considerados nas normas da MBEA. Adicionalmente, levantam-se dúvidas em relação à validade de constructo do instrumento, uma vez que este não parece medir apenas capacidades biológicas e inatas. Apesar das diferenças verificadas, houve sobreposição das pontuações entre grupos, sugerindo que a aprendizagem musical não é por si só determinante em relação à MBEA.

Limitações

Embora os anos de instrução musical se tenham correlacionado, como seria de esperar, com a idade, esta não se correlacionou com nenhum índice de desempenho por parte dos músicos, e portanto não parece ter exercido qualquer influência nos nossos resultados. Dado que as amostras foram recolhidas maioritariamente junto de estudantes com idades semelhantes, é também provável não tenha havido diferenças entre grupos quanto aos anos de educação (escolar e universitária). Ainda assim, teria sido benéfico controlar explicitamente para esta variável.

Ainda que tenhamos medido os anos de instrução musical por parte dos músicos, deixámos de parte na nossa análise a idade de começo desta aprendizagem, uma variável com demonstrados efeitos a nível estrutural cerebral. Não foi possível, deste modo, estudar a correlação entre este fator e as pontuações obtidas na bateria.

Outra limitação do nosso estudo relaciona-se com o método de administração da MBEA. Fazendo o nosso trabalho parte de um estudo mais amplo cujo objetivo é estabelecer as normas de desempenho para a população portuguesa, necessitando por isso de uma vasta amostra, a administração da bateria foi realizada em grupo – em contraste com a administração individual feita por Peretz, Champod e Hyde (2003). Este fator poderá ter contribuído negativamente para os resultados dos participantes, havendo mais possibilidades de distração.

Estudos futuros

Estudos futuros poderão averiguar as diferenças entre músicos e não músicos item a item, de forma a perceber quais as características das frases musicais que mais contribuem para as discrepâncias observadas, e poder melhorar a validade de constructo da bateria. Estudos longitudinais poderão esclarecer a evolução precisa do desempenho na MBEA à medida que ocorre a aprendizagem formal da música, e sobre a influência de estilos de ensino musical distintos.

Outra questão relevante diz respeito a quais as variáveis que têm um efeito sobre o desempenho na MBEA, sejam elas biológicas, do desenvolvimento ou culturais. Diferenças entre músicos de diferentes instrumentos, entre diferentes famílias de instrumentos musicais, ou resultantes de diferentes estilos de formação musical seriam por certo informativas em relação à contribuição precisa da aprendizagem musical.

Outra variável a ter em conta poderá ser a idade de iniciação da aprendizagem formal da música.

Tendo estabelecido que o desempenho na MBEA é influenciável pela aprendizagem da música, será relevante averiguar que outras atividades contribuem para uma melhoria nos resultados obtidos, como por exemplo a dança ou a prática de exercício físico, e se estas atividades influenciam o desempenho de forma homogénea, ou se incidem sobre alguma componente da bateria em particular.

Referências

- Alajouanine, T. (1948). Aphasia and artistic realization. *Brain: a journal of neurology*, 71, 229-241.
- Albouy, P., Mattout, J., Sanchez, G., Tillmann, B., & Caclin, A. (2015). Altered retrieval of melodic information in congenital amusia: insights from dynamic causal modeling of MEG data. *Frontiers in Human Neuroscience*, 9, 20.
- Alcock, K. J., Passingham, R. E., Watkins, K., & Vargha-Khadem, F. (2000). Pitch and timing abilities in inherited speech and language impairment. *Brain and language*, 75(1), 34-46.
- Allen, G. (1878). Note-deafness. *Mind*, 3(10), 157-167.
- Altenmüller, E. (1986). Brain electrical correlates of cerebral music processing in the human. *European archives of psychiatry and neurological sciences*, 235(6), 342.
- Altenmüller, E. (1989). Cortical DC-potentials as electrophysiological correlates of hemispheric dominance of higher cognitive functions. *International Journal of Neuroscience*, 47(1-2), 1-14.
- Altenmüller, E. (2003). How many music centers are in the brain?. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 346-353). New York: Oxford University Press.
- Altenmueller, E., Gruhn, W., Parlitz, D., & Kahrs, J. (1997). Music learning produces changes in brain activation patterns: A longitudinal DC-EEG study. *International Journal of Arts Medicine*, 5(1), 28-33.
- Altenmüller, E., Siggel, S., Mohammadi, B., Samii, A., & Münte, T. F. (2014). Play it again, Sam: brain correlates of emotional music recognition. *Frontiers in Psychology*, 5, 114.
- Amunts, K., Schlaug, G., Jäncke, L., Steinmetz, H., Schleicher, A., Dabringhaus, A., & Zilles, K. (1997). Motor cortex and hand motor skills: structural compliance in the human brain. *Human brain mapping*, 5(3), 206-215.

- Anderson, B., Southern, B. D., & Powers, R. E. (1999). Anatomic asymmetries of the posterior superior temporal lobes: a postmortem study. *Neuropsychiatry, Neuropsychology, & Behavioral Neurology*.
- Andrews, P. W., Gangestad, S. W., & Matthews, D. (2002). Adaptationism, exaptationism, and evolutionary behavioral science. *Behavioral and Brain Sciences*, 25(4), 534.
- Aram, D. M., & Eisele, J. A. (1992). Plasticity and recovery of higher cognitive functions following early brain injury. In I. Rapin, & S. J. Segalowitz (Eds.), *Handbook of neuropsychology (Vol. 6): Child neuropsychology* (pp. 73-92). Elsevier Science.
- Assal, G. (1973). Aphasie de Wernicke sans amusie chez un pianiste. *Revue Neurologique*, 129(25), 1-255.
- Assal, G., & Buttet, J. (1983). Agraphie et conservation de l'écriture musicale chez un professeur de piano bilingue. *Revue neurologique (Paris)*, 139(10), 569-574.
- Ayotte, J., Peretz, I., & Hyde, K. (2002). Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, 125(2), 238-251.
- Ayotte, J., Peretz, I., Rousseau, I., Bard, C., & Bojanowski, M. (2000). Patterns of music agnosia associated with middle cerebral artery infarcts. *Brain*, 123(9), 1926-1938.
- Balzano, G. (1982). The pitch set as a level of description for studying musical pitch perception. In M. Clynes (Ed.), *Music, Mind and Brain* (pp. 321-351). New York: Plenum.
- Barkow, J. H., Cosmides, L., & Tooby, J. (Eds.) (1992). *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture*. USA: Oxford University Press.
- Barrett, H. C. (2005). Enzymatic computation and cognitive modularity. *Mind & language*, 20(3), 259-287.
- Barrett, H. C., & Kurzban, R. (2006). Modularity in cognition: framing the debate. *Psychological review*, 113(3), 628.

- Belin, P., Zatorre, R. J., Lafaille, P., Ahad, P., & Pike, B. (2000). Voice-selective areas in human auditory cortex. *Nature*, *403*(6767), 309-312.
- Bengtsson, S. L., Nagy, Z., Skare, S., Forsman, L., Forssberg, H., & Ullén, F. (2005). Extensive piano practicing has regionally specific effects on white matter development. *Nature neuroscience*, *8*(9), 1148-1150.
- Benton, A. L., & Joynt, R. J. (1960). Early descriptions of aphasia. *Archives of Neurology*, *3*(2), 205-222.
- Benton, A. L. (1977). The amusias. In M. Critchley, & R. A. Henson (Eds.). *Music and the brain: Studies in the neurology of music* (pp. 378-397). London: Heinemann Medical.
- Bertoncini, J., Morais, J., Bijeljic-Babic, R., McAdams, S., Peretz, I., & Mehler, J. (1989). Dichotic perception and laterality in neonates. *Brain and language*, *37*(4), 591-605.
- Besson, M., & Faïta, F. (1995). An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: Comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *21*(6), 1278.
- Besson, M., Faïta, F., Peretz, I., Bonnel, A. M., & Requin, J. (1998). Singing in the brain: Independence of lyrics and tunes. *Psychological Science*, *9*(6), 494-498.
- Besson, M., Faïta, F., & Requin, J. (1994). Brain waves associated with musical incongruities differ for musicians and non-musicians. *Neuroscience letters*, *168*(1-2), 101-105.
- Best, C. T., Hoffman, H., & Glanville, B. B. (1982). Development of infant ear asymmetries for speech and music. *Perception & Psychophysics*, *31*(1), 75-85.
- Bever, T. G., & Chiarello, R. J. (1974). Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, *185*(4150), 537-539.
- Bigand, E. (1990). Abstraction of two forms of underlying structure in a tonal melody. *Psychology of Music*, *18*(1), 45-59.
- Bigand, E. (2003). More about the musical expertise of musically untrained listeners. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*(1), 304-312.

- Bigand, E., Perruchet, P., & Boyer, M. (1998). Implicit learning of an artificial grammar of musical timbres. *Cahiers de Psychologie Cognitive/Current Psychology of Cognition*, 17(3), 577–600.
- Bigand, E., & Pineau, M. (1997). Global context effects on musical expectancy. *Perception & psychophysics*, 59(7), 1098-1107.
- Bigand, E., Poulin, B., Tillmann, B., Madurell, F., & D'Adamo, D. A. (2003). Sensory versus cognitive components in harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 159.
- Bigand, E., & Poulin-Charronnat, B. (2006). Are we “experienced listeners”? A review of the musical capacities that do not depend on formal musical training. *Cognition*, 100(1), 100-130.
- Bigand, E., Tillmann, B., Poulin, B., D'Adamo, D. A., & Madurell, F. (2001). The effect of harmonic context on phoneme monitoring in vocal music. *Cognition*, 81(1), B11-B20.
- Bigand, E., Vieillard, S., Madurell, F., Marozeau, J., & Dacquet, A. (2005). Multidimensional scaling of emotional responses to music: The effect of musical expertise and of the duration of the excerpts. *Cognition & Emotion*, 19(8), 1113-1139.
- Blacking, J. (Ed.) (1995). *Music, culture, and experience: Selected papers of John Blacking*. University of Chicago Press.
- Blood, A. J., & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the national academy of sciences*, 98(20), 11818-11823.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P., & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature neuroscience*, 2(4), 382-387.
- Botez, M. I., & Wertheim, N. (1959). Expressive aphasia and amusia following right frontal lesion in a right-handed man. *Brain*, 82(2), 186-202.

- Braun, A., McArdle, J., Jones, J., Nechaev, V., Zalewski, C., Brewer, C., & Drayna, D. (2008). Tune deafness: processing melodic errors outside of conscious awareness as reflected by components of the auditory ERP. *PLoS One*, 3(6), e2349.
- Broca, P. (1861). Remarques sur le siège de la faculté du langage articulé, suivies d'une observation d'aphémie (perte de la parole). *Bulletin et Memoires de la Societe anatomique de Paris*, 6, 330-357.
- Brown, S. (2000). Evolutionary models of music: from sexual selection to group selection. In F. Tonneau and N. S. Thompson (Eds), *Perspectives in Ethology*, vol. 13: Evolution, Culture, and Behavior (pp. 231-281). New York: Kluwer Academic.
- Brust, J. (2003). Music and the neurologist: A historical perspective. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 181-191). New York: Oxford University Press.
- Buller, D. J. (Ed.) (2006). *Adapting minds: Evolutionary psychology and the persistent quest for human nature*. MIT press.
- Buller, D. J., & Hardcastle, V. (2000). Evolutionary psychology, meet developmental neurobiology: Against promiscuous modularity. *Brain and Mind*, 1(3), 307-325.
- Carruthers, P. (2005). The case for massively modular models of mind. In R. Stainton (Ed.), *Contemporary debates in cognitive science* (pp. 205-225). Oxford, England: Blackwell.
- Cavaco, S., Gonçalves, A., Pinto, C., Almeida, E., Gomes, F., Moreira, I., ... & Teixeira-Pinto, A. (2015). Auditory Verbal Learning Test in a large nonclinical Portuguese population. *Applied Neuropsychology: Adult*, 22(5), 321-331.
- Chang, H. W., & Trehub, S. E. (1977). Infants' perception of temporal grouping in auditory patterns. *Child development*, 1666-1670.
- Chen, J. L., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2008). Listening to musical rhythms recruits motor regions of the brain. *Cerebral cortex*, 18(12), 2844-2854.

- Cicerone, K. D., Langenbahn, D. M., Braden, C., Malec, J. F., Kalmar, K., Fraas, M., ... & Azulay, J. (2011). Evidence-based cognitive rehabilitation: updated review of the literature from 2003 through 2008. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 92(4), 519-530.
- Cohen, A. J., Thorpe, L. A., & Trehub, S. E. (1987). Infants' perception of musical relations in short transposed tone sequences. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, 41(1), 33.
- Cohen, L., Dehaene, S., Naccache, L., Lehéricy, S., Dehaene-Lambertz, G., Hénaff, M. A., & Michel, F. (2000). The visual word form area: spatial and temporal characterization of an initial stage of reading in normal subjects and posterior split-brain patients. *Brain*, 123(2), 291-307.
- Collier, J. L. (Ed.) (1983). *Louis Armstrong: An American Genius*. Oxford University Press.
- Coltheart, M. (1985). Cognitive neuropsychology and the study of reading. In M. I. Posner, & O. S. M. Marin (Eds.), *Attention and Performance XI* (pp. 3-37). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Coltheart, M. (1999). Modularity and cognition. *Trends in cognitive sciences*, 3(3), 115-120.
- Coltheart, M. (2001). Assumptions and methods in cognitive neuropsychology. In B. Rapp (Ed.), *The Handbook of Cognitive Neuropsychology* (pp. 3-21). Hove, UK: Psychology Press.
- Conard, N. J., Malina, M., & Münzel, S. C. (2009). New flutes document the earliest musical tradition in southwestern Germany. *Nature*, 460(7256), 737-740.
- Cosmides, L. (1989). The logic of social exchange: Has natural selection shaped how humans reason? Studies with the Wason selection task. *Cognition*, 31(3), 187-276.
- Cosmides, L., & Tooby, J. (1992). Cognitive adaptations for social exchange. In J. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind* (pp. 163-228). New York: Oxford University Press.

- Cosmides, L., & Tooby, J. (1994). Origins of domain specificity: The evolution of functional organization. In L. Hirschfeld & S. Gelman (Eds.), *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture* (pp. 85-116). Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Coull, J. T., Cheng, R. K., & Meck, W. H. (2011). Neuroanatomical and neurochemical substrates of timing. *Neuropsychopharmacology*, *36*(1), 3-25.
- Critchley, M. N., & Henson, R. A. (Eds.) (1977). *Music and the brain: Studies in the neurology of music*. London: Heinemann Medical.
- Cross, I. (2003). Music, cognition, culture, and evolution. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 42-56). New York: Oxford University Press.
- Crowder, R. G. (Ed.) (1972). *Principles of learning and memory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dalin, O. (1745). Berättelse om en Dumbe, som kan siunga. *Kunglig Svenska Vetenskapsakademien Handlingar*, *6*, 114-115.
- Dalla Bella, S., Giguère, J. F., & Peretz, I. (2009). Singing in congenital amusia. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *126*(1), 414-424.
- Dalla Bella, S., & Peretz, I. (2003). Congenital amusia interferes with the ability to synchronize with music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*(1), 166-169.
- Dalla Bella, S., Peretz, I., & Aronoff, N. (2003). Time course of melody recognition: A gating paradigm study. *Perception & Psychophysics*, *65*(7), 1019-1028.
- Dalla Bella, S., & Peretz, I. (2005). Differentiation of classical music requires little learning but rhythm. *Cognition*, *96*(2), B65-B78.
- Darwin, C. (Ed.) (1872). *The expression of the emotions in man and animals*. London: J. Murray.
- Deacon, T. (Ed.) (1998). *The symbolic species*. New York: Norton.
- Dehaene, S., & Cohen, L. (2007). Cultural recycling of cortical maps. *Neuron*, *56*(2), 384-398.

- Demany, L., McKenzie, B., & Vurpillot, E. (1977). Rhythm perception in early infancy. *Nature*, 266(5604), 718-719.
- Deutsch, D. (1970). Tones and numbers: Specificity of interference in immediate memory. *Science*, 168(3939), 1604-1605.
- Di Pietro, M., Laganaro, M., Leemann, B., & Schneider, A. (2004). Receptive amusia: temporal auditory processing deficit in a professional musician following a left temporo-parietal lesion. *Neuropsychologia*, 42(7), 868-877.
- Dissanayake, E. (2000). Antecedents of the temporal arts in early mother-infant interaction. In N. L. Wallin, B. Merker, & S. Brown (Eds.), *The origins of music* (pp. 389-410). Cambridge, MA: MIT Press.
- Don, A. J., Schellenberg, G. E., & Rourke, B. P. (1999). Music and language skills of children with Williams syndrome. *Child neuropsychology*, 5(3), 154-170.
- Dowling, W. J. (1999). The development of music perception and cognition. In D. Deutsch (Ed.), *The Psychology of Music* (pp. 603-625). San Diego, CA: Academic Press.
- Dowling, W. J., & Fujitani, D. S. (1971). Contour, interval, and pitch recognition in memory for melodies. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 49(2B), 524-531.
- Dowling, W. J., & Harwood, D. L. (Eds.) (1986). *Music Cognition*. New York, NY: Academic Press.
- Drake, C. (1998). Psychological processes involved in the temporal organization of complex auditory sequences: Universal and acquired processes. *Music perception*, 16(1), 11-26.
- Drake, C., Jones, M. R., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition*, 77(3), 251-288.
- Elbert, T., Pantev, C., Wienbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, E. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270(5234), 305-307.

- Elman, J. L., Bates, E. A., Johnson, M. H., Karmiloff-Smith, A., Parisi, D., & Plunkett, K. (Eds.) (1996). *Rethinking innateness: A connectionist perspective on development*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Eustache, F., Lechevalier, B., Viader, F., & Lambert, J. (1990). Identification and discrimination disorders in auditory perception: a report on two cases. *Neuropsychologia*, 28(3), 257-270.
- Evarts, E. V. (1952). Effect of auditory cortex ablation on frequency discrimination in monkey. *Journal of neurophysiology*, 15(6), 443-448.
- Feuchtwanger, E. (1930). Amusie: Studien zur pathologischen Psychologie der akustischen Wahrnehmung und Vorstellung und ihrer Strukturgebiete, besonders in Musik und Sprache. Berlin: Julius Springer.
- Fiddick, L., Cosmides, L., & Tooby, J. (2000). No interpretation without representation: The role of domain-specific representations and inferences in the Wason selection task. *Cognition*, 77(1), 1-79.
- Fishman, Y. I., Volkov, I. O., Noh, M. D., Garell, P. C., Bakken, H., Arezzo, J. C., ... & Steinschneider, M. (2001). Consonance and dissonance of musical chords: neural correlates in auditory cortex of monkeys and humans. *Journal of Neurophysiology*, 86(6), 2761-2788.
- Fitch, W. (2013). Rhythmic cognition in humans and animals: distinguishing meter and pulse perception. *Frontiers in systems neuroscience*, 7, 68.
- Fodor, J. A. (Ed.) (1983). *The modularity of mind*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Fodor, J. A. (Ed.) (2001). *The mind doesn't work that way: The scope and limits of computational psychology*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Foxton, J. M., Dean, J. L., Gee, R., Peretz, I., & Griffiths, T. D. (2004). Characterization of deficits in pitch perception underlying 'tone deafness'. *Brain*, 127(4), 801-810.
- Fraisse, P. (1982). Rhythm and tempo. *The psychology of music*, 1, 149-180.
- Frances, R., Lhermitte, F., & Verdy, M. F. (1973). Le déficit musical des aphasiques. *Applied Psychology*, 22(2), 117-135.

- Frances, R., Zenatti, A., & Imberty, M. (1979). Le domaine musical. *Psychologie de l'art et de l'esthétique*, 139-193.
- Freeman, W. J. (Ed.) (1995). *Societies of Brains: A Study in the Neuroscience of Love and Hate*. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Freitas, C., Manzato, E., Burini, A., Taylor, M. J., Lerch, J. P., & Anagnostou, E. (2018). Neural correlates of familiarity in music listening: A systematic review and a neuroimaging meta-analysis. *Frontiers in neuroscience*, 12, 686.
- Fries, W., & Swihart, A. A. (1990). Disturbance of rhythm sense following right hemisphere damage. *Neuropsychologia*, 28(12), 1317-1323.
- Fujioka, T., Trainor, L. J., Ross, B., Kakigi, R., & Pantev, C. (2004). Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure. *Journal of cognitive neuroscience*, 16(6), 1010-1021.
- Gaab, N., Gaser, C., Zaehle, T., Jancke, L., & Schlaug, G. (2003). Functional anatomy of pitch memory—an fMRI study with sparse temporal sampling. *Neuroimage*, 19(4), 1417-1426.
- Gaab, N., Gaser, C., & Schlaug, G. (2006). Improvement-related functional plasticity following pitch memory training. *Neuroimage*, 31(1), 255-263.
- Gabrielsson, A. (Ed.) (2011). *Strong experiences with music: Music is much more than just music*. Oxford University Press.
- Galuske, R. A., Schlote, W., Bratzke, H., & Singer, W. (2000). Interhemispheric asymmetries of the modular structure in human temporal cortex. *Science*, 289(5486), 1946-1949.
- García-Casares, N., Torres, M. B., Walsh, S. F., & González-Santos, P. (2013). Model of music cognition and amusia. *Neurología (English Edition)*, 28(3), 179-186.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003a). Brain structures differ between musicians and non-musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(27), 9240-9245.
- Gaser, C., & Schlaug, G. (2003b). Gray matter differences between musicians and nonmusicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 514-517.

- Geiser, E., Notter, M., & Gabrieli, J. D. (2012). A corticostriatal neural system enhances auditory perception through temporal context processing. *Journal of Neuroscience*, 32(18), 6177-6182.
- Geissmann, T. (2000). Gibbon songs and human music from an evolutionary perspective. In N. L. Wallin, B. Merker, & S. Brown (Eds.), *The origins of music* (pp. 103-123). Cambridge, MA: MIT Press.
- Geschwind, N., Quadfasel, F. A., & Segarra, J. (1968). Isolation of the speech area. *Neuropsychologia*, 6(4), 327-340.
- Gigerenzer, G., & Hug, K. (1992). Domain-specific reasoning: Social contracts, cheating, and perspective change. *Cognition*, 43(2), 127-171.
- Glanzer, M., & Cunitz, A. R. (1966). Two storage mechanisms in free recall. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 5(4), 351-360.
- Godefroy, O., Leys, D., Furby, A., De Reuck, J., Daems, C., Rondepierre, P., ... & Desaulty, A. (1995). Psychoacoustical deficits related to bilateral subcortical hemorrhages a case with apperceptive auditory agnosia. *Cortex*, 31(1), 149-159.
- Goldstein, A. (1980). Thrills in response to music and other stimuli. *Physiological Psychology*, 8(1), 126-129.
- Gosselin, N., Paquette, S., & Peretz, I. (2015). Sensitivity to musical emotions in congenital amusia. *Cortex*, 71, 171-182.
- Gosselin, N., Peretz, I., Noulhiane, M., Hasboun, D., Beckett, C., Baulac, M., & Samson, S. (2005). Impaired recognition of scary music following unilateral temporal lobe excision. *Brain*, 128(3), 628-640.
- Gordon, E. (1965). *Musical aptitude profile*. Chicago: GIA.
- Gould, S. J., & Lewontin, R. C. (1979). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: a critique of the adaptationist programme. *Proceedings of the royal society of London. Series B. Biological Sciences*, 205(1161), 581-598.
- Gould, S. J., & Vrba, E. S. (1982). Exaptation—a missing term in the science of form. *Paleobiology*, 4-15.

- Gourlay, K. A. (1984). The non-universality of music and the universality of non-music. *The world of music*, 26(2), 25-39.
- Grahn, J. A., & Brett, M. (2007). Rhythm and beat perception in motor areas of the brain. *Journal of cognitive neuroscience*, 19(5), 893-906.
- Grahn, J. A., & McAuley, J. D. (2009). Neural bases of individual differences in beat perception. *NeuroImage*, 47(4), 1894-1903.
- Grahn, J. A., & Rowe, J. B. (2009). Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *Journal of Neuroscience*, 29(23), 7540-7548.
- Green, C. S., & Bavelier, D. (2008). Exercising your brain: a review of human brain plasticity and training-induced learning. *Psychology and aging*, 23(4), 692.
- Griffiths, T. D., Rees, A., Witton, C., Cross, P. M., Shakir, R. A., & Green, G. G. (1997). Spatial and temporal auditory processing deficits following right hemisphere infarction. A psychophysical study. *Brain: A Journal of Neurology*, 120(5), 785-794.
- Griffiths, T. D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I., Josephs, O., & Patterson, R. D. (2001). Encoding of the temporal regularity of sound in the human brainstem. *Nature neuroscience*, 4(6), 633-637.
- Griffiths, T. D., & Warren, J. D. (2002). The planum temporale as a computational hub. *Trends in neurosciences*, 25(7), 348-353.
- Griffiths, T. D., Warren, J. D., Dean, J. L., & Howard, D. (2004). "When the feeling's gone": a selective loss of musical emotion. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 75(2), 344-345.
- Guerreiro, S. (2014). *Avaliação dos impactos de um programa holístico de reabilitação neuropsicológica: medidas de ativação cerebral, funcionamento cognitivo, estabilidade emocional, funcionalidade e qualidade de vida* (Dissertação de Doutoramento). Faculdade de Psicologia e Ciências da Educação, Universidade do Porto, Porto, Portugal.

- Guevara, C. (Ed.) (2003). *The motorcycle diaries: notes on a Latin American journey*. New York: Ocean Press.
- Gutschalk, A., Patterson, R. D., Rupp, A., Uppenkamp, S., & Scherg, M. (2002). Sustained magnetic fields reveal separate sites for sound level and temporal regularity in human auditory cortex. *Neuroimage*, *15*(1), 207-216.
- Hall, D. A., Johnsrude, I. S., Haggard, M. P., Palmer, A. R., Akeroyd, M. A., & Summerfield, A. Q. (2002). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, *12*(2), 140-149.
- Halpern, A. R. (1988). Mental scanning in auditory imagery for songs. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *14*(3), 434.
- Halpern, A. R. (1989). Memory for the absolute pitch of familiar songs. *Memory & Cognition*, *17*(5), 572-581.
- Halpern, A. R., & Zatorre, R. J. (1999). When that tune runs through your head: a PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cerebral cortex*, *9*(7), 697-704.
- Halsband, U., Ito, N., Tanji, J., & Freund, H. J. (1993). The role of premotor cortex and the supplementary motor area in the temporal control of movement in man. *Brain*, *116*(1), 243-266.
- Harms, M., Melcher, J. R., & Weisskoff, R. M. (1998). Time courses of fMRI signals in the inferior colliculus, medial geniculate body, and auditory cortex show different dependencies on noise burst rate. *Neuroimage*, *7*, S365.
- Harrington, D. L., Haaland, K. Y., & Hermanowitz, N. (1998). Temporal processing in the basal ganglia. *Neuropsychology*, *12*(1), 3.
- Hart, H. C., Palmer, A. R., & Hall, D. A. (2003). Amplitude and frequency-modulated stimuli activate common regions of human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, *13*(7), 773-781.
- Hawks, J., Hunley, K., Lee, S. H., & Wolpoff, M. (2000). Population bottlenecks and Pleistocene human evolution. *Molecular biology and evolution*, *17*(1), 2-22.

- Heaton, P., Hermelin, B., & Pring, L. (1998). Autism and pitch processing: A precursor for savant musical ability?. *Music perception*, *15*(3), 291-305.
- Heaton, R. K., Miller, S. W., Taylor, M. J., & Grant, I. (2004). Revised comprehensive norms for an expanded Halstead-Reitan Battery: Demographically adjusted neuropsychological norms for African American and Caucasian adults. *Lutz, FL: Psychological Assessment Resources*.
- Hebb, D. O. (Ed.) (1949). *The Organization of Behavior*. New York: Wiley.
- Heffner, R. S., & Masterton, R. B. (1990). Sound localization in mammals: brain-stem mechanisms. *Comparative perception*, *1*, 285-314.
- Henry, M. J., & McAuley, J. D. (2010). On the prevalence of congenital amusia. *Music Perception*, *27*(5), 413-418.
- Henschen, S. E. (1925). Clinical and anatomical contributions on brain pathology. *Archives of Neurology & Psychiatry*, *13*(2), 226-249.
- Henschen, S. E. (1926). On the function of the right hemisphere of the brain in relation to the left in speech, music and calculation. *Brain*, *49*(1), 110-123.
- Henson, R. A. (1977). Neurological aspects of musical experience. In M. Critchley, & R. A. Henson (Eds.). *Music and the brain: Studies in the neurology of music* (pp. 3-21). London: Heinemann Medical.
- Holcomb, H. H., Medoff, D. R., Caudill, P. J., Zhao, Z., Lahti, A. C., Dannals, R. F., & Tamminga, C. A. (1998). Cerebral blood flow relationships associated with a difficult tone recognition task in trained normal volunteers. *Cerebral cortex (New York, NY: 1991)*, *8*(6), 534-542.
- Huron, D. (2003). Is music an evolutionary adaptation?. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 57-75). New York: Oxford University Press.
- Hutchinson, S., Lee, L. H. L., Gaab, N., & Schlaug, G. (2003). Cerebellar volume of musicians. *Cerebral cortex*, *13*(9), 943-949.

- Hutsler, J. J., & Gazzaniga, M. S. (1996). Acetylcholinesterase staining in human auditory and language cortices: regional variation of structural features. *Cerebral Cortex*, 6(2), 260-270.
- Hutchins, S., Zarate, J. M., Zatorre, R. J., & Peretz, I. (2010). An acoustical study of vocal pitch matching in congenital amusia. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 127(1), 504-512.
- Hyde, K. L., Lerch, J. P., Zatorre, R. J., Griffiths, T. D., Evans, A. C., & Peretz, I. (2007). Cortical thickness in congenital amusia: when less is better than more. *Journal of Neuroscience*, 27(47), 13028-13032.
- Hyde, K. L., & Peretz, I. (2004). Brains that are out of tune but in time. *Psychological Science*, 15(5), 356-360.
- Hyde, K. L., Zatorre, R. J., Griffiths, T. D., Lerch, J. P., & Peretz, I. (2006). Morphometry of the amusic brain: a two-site study. *Brain*, 129(10), 2562-2570.
- Hyde, K. L., Zatorre, R. J., & Peretz, I. (2011). Functional MRI evidence of an abnormal neural network for pitch processing in congenital amusia. *Cerebral Cortex*, 21(2), 292-299.
- Ibbotson, N. R., & Morton, J. (1981). Rhythm and dominance. *Cognition*, 9(2), 125-138.
- Ivry, R. B., & Keele, S. W. (1989). Timing functions of the cerebellum. *Journal of cognitive neuroscience*, 1(2), 136-152.
- Jackson, J. H. (1871). Singing by speechless (aphasic) children. *The Lancet*, 98(2508), 430-431.
- Janata, P., Birk, J. L., Van Horn, J. D., Leman, M., Tillmann, B., & Bharucha, J. J. (2002). The cortical topography of tonal structures underlying Western music. *Science*, 298(5601), 2167-2170.
- Janata, P., & Grafton, S. T. (2003). Swinging in the brain: shared neural substrates for behaviors related to sequencing and music. *Nature neuroscience*, 6(7), 682-687.
- Jellinek, A. (1956). Amusia. *Folia Phoniatica et Logopaedica*, 8(3), 124-149.

- Jerison, H. J., & Neff, W. D. (1953). Effect of cortical ablation in the monkey on discrimination of auditory patterns. *Federation Proceedings. Federation of American Societies for Experimental Biology*, 12, 73-74.
- Johnsrude, I. S., Penhune, V. B., & Zatorre, R. J. (2000). Functional specificity in the right human auditory cortex for perceiving pitch direction. *Brain*, 123(1), 155-163.
- Judd, T. L., A. Arslanian, L. Davidson, *et al.* (1979, February). *A right hemisphere stroke in a composer*. Presented at International Neuropsychological Society, New York.
- Juslin, P. N., & Sloboda, J. A. (Eds.) (2001). *Music and emotion: Theory and research*. Oxford: Oxford University Press.
- Justus, T. C., & Bharucha, J. J. (2001). Modularity in musical processing: The automaticity of harmonic priming. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27(4), 1000.
- Karni, A., Meyer, G., Jezard, P., Adams, M. M., Turner, R., & Ungerleider, L. G. (1995). Functional MRI evidence for adult motor cortex plasticity during motor skill learning. *Nature*, 377(6545), 155-158.
- Kaufman, L., & Kaufman, J. H. (2000). Explaining the moon illusion. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(1), 500-505.
- Kleist, K. (1928). Gehirnpathologische und lokalisatorische Ergebnisse über Hörstörungen, Geräuschtaubheiten und Amusien. *European Neurology*, 68(1-6), 853-860.
- Knoblauch, A. (1890). On disorders of the musical capacity from cerebral disease. *Brain*, 13(3), 317-340.
- Koelsch, S. (Ed.) (2012). *Brain and music*. John Wiley & Sons.
- Koelsch, S., Grossmann, T., Gunter, T. C., Hahne, A., Schröger, E., & Friederici, A. D. (2003). Children processing music: electric brain responses reveal musical competence and gender differences. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15(5), 683-693.

- Koelsch, S., Gunter, T. C., von Cramon, D. Y., Zysset, S., Lohmann, G., & Friederici, A. D. (2002). Bach speaks: A cortical "language-network" serves the processing of music. *Neuroimage*, *17*(2), 956-966.
- Koelsch, S., & Siebel, W. A. (2005). Towards a neural basis of music perception. *Trends in cognitive sciences*, *9*(12), 578-584.
- Kogan, N. (1997). Reflections on aesthetics and evolution. *Critical Review*, *11*(2), 193-210.
- Kohlmetz, C., Müller, S. V., Nager, W., Münte, T. F., & Altenmüller, E. (2003). Selective loss of timbre perception for keyboard and percussion instruments following a right temporal lesion. *Neurocase*, *9*(1), 86-93.
- Krumhansl, C. L. (1990). Tonal hierarchies and rare intervals in music cognition. *Music Perception*, *7*(3), 309-324.
- Krumhansl, C. L. (1997). An exploratory study of musical emotions and psychophysiology. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *51*(4), 336.
- Lai, C. S., Fisher, S. E., Hurst, J. A., Vargha-Khadem, F., & Monaco, A. P. (2001). A forkhead-domain gene is mutated in a severe speech and language disorder. *Nature*, *413*(6855), 519-523.
- Large, E. W., Palmèr, C., & Pollack, J. B. (1995). Reduced memory representations for music. *Cognitive science*, *19*(1), 53-96.
- Lechevalier, B., Rossa, Y., Eustache, F., Schupp, C., & Boner, L. (1984). Un cas de surdit  corticale  pargnant en partie la musique. *Revue neurologique (Paris)*, *140*(3), 190-201.
- Lerdahl, F., & Jackendoff, R. (1983). An overview of hierarchical structure in music. *Music Perception*, *1*(2), 229-252.
- Lessard, N., Par , M., Lepore, F., & Lassonde, M. (1998). Early-blind human subjects localize sound sources better than sighted subjects. *Nature*, *395*(6699), 278-280.

- Lévêque, Y., Fauvel, B., Groussard, M., Caclin, A., Albouy, P., Platel, H., & Tillmann, B. (2016). Altered intrinsic connectivity of the auditory cortex in congenital amusia. *Journal of Neurophysiology*, *116*(1), 88-97.
- Levinson, J. (Ed.) (1997). *Music in the Moment*. Ithaca, NY: Cornell University Press.
- Levitin, D. J. (1994). Absolute memory for musical pitch: Evidence from the production of learned melodies. *Perception & Psychophysics*, *56*(4), 414-423.
- Levitin, D. J. (Ed.) (2002). *Foundations of cognitive psychology: core readings*. MIT press.
- Levitin, D. J. (Ed.) (2006). *This is your brain on music: The science of a human obsession*. Penguin.
- Levitin, D. J., & Cook, P. R. (1996). Memory for musical tempo: Additional evidence that auditory memory is absolute. *Perception & Psychophysics*, *58*(6), 927-935.
- Levitin, D. J., & Menon, V. (2003). Musical structure is processed in “language” areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *Neuroimage*, *20*(4), 2142-2152.
- Lezak, M. D., Howieson, D. B., Bigler, E. B., & Tranel, D. (Eds.) (2012). *Neuropsychological assessment*. New York: Oxford University Press.
- Liberman, A. M., & Mattingly, I. G. (1985). The motor theory of speech perception revised. *Cognition*, *21*(1), 1-36.
- Liégeois-Chauvel, C., Giraud, K., Badier, J., Marquis, P., & Chauvel, P. (2003). Intracerebral evoked potentials in pitch perception reveal a functional asymmetry of human auditory cortex. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 152-167). New York: Oxford University Press.
- Liégeois-Chauvel, C., Peretz, I., Babai, M., Laguitton, V., & Chauvel, P. (1998). Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain: a journal of neurology*, *121*(10), 1853-1867.
- Lissauer, H. (1890). Ein Fall von Seelenblindheit nebst einem Beitrage zur Theorie derselben. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, *21*(2), 222-270.

- Liu, F., Patel, A. D., Fourcin, A., & Stewart, L. (2010). Intonation processing in congenital amusia: discrimination, identification and imitation. *Brain*, *133*(6), 1682-1693.
- Loui, P., Alsop, D., & Schlaug, G. (2009). Tone deafness: a new disconnection syndrome?. *Journal of Neuroscience*, *29*(33), 10215-10220.
- Loui, P., Guenther, F. H., Mathys, C., & Schlaug, G. (2008). Action–perception mismatch in tone-deafness. *Current Biology*, *18*(8), R331-R332.
- Loui, P., & Schlaug, G. (2009). Investigating musical disorders with diffusion tensor imaging: A comparison of imaging parameters. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1169*, 121.
- Luria, A. R., Tsvetkova, L. S., & Futer, D. S. (1965). Aphasia in a composer. *Journal of the neurological sciences*, *2*(3), 288-292.
- Lynch, M. P., Eilers, R. E., Oller, D. K., & Urbano, R. C. (1990). Innateness, experience, and music perception. *Psychological Science*, *1*(4), 272-276.
- MacDonald, J., & McGurk, H. (1978). Visual influences on speech perception processes. *Perception & Psychophysics*, *24*(3), 253-257.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C., & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature neuroscience*, *4*(5), 540-545.
- Mandell, J., Schulze, K., & Schlaug, G. (2007). Congenital amusia: an auditory-motor feedback disorder?. *Restorative neurology and neuroscience*, *25*(3-4), 323-334.
- Mangels, J. A., Ivry, R. B., & Shimizu, N. (1998). Dissociable contributions of the prefrontal and neocerebellar cortex to time perception. *Cognitive Brain Research*, *7*(1), 15-39.
- Marcus, G. F., Vouloumanos, A., & Sag, I. A. (2003). Does Broca's play by the rules?. *Nature Neuroscience*, *6*(7), 651-652.
- Marin, O. S., & Perry, D. W. (1999). Neurological aspects of music perception and performance. In *The psychology of music* (pp. 653-724). Academic Press.
- Marôco, J. (Ed.) (2018). *Análise Estatística com o SPSS Statistics (7ª ed.)*. Pêro Pinheiro: ReportNumber, Lda.

- Mathiak, K., Hertrich, I., Grodd, W., & Ackermann, H. (2004). Discrimination of temporal information at the cerebellum: functional magnetic resonance imaging of nonverbal auditory memory. *Neuroimage*, *21*(1), 154-162.
- Mavlov, L. (1980). Amusia due to rhythm agnosia in a musician with left hemisphere damage: a non-auditory supramodal defect. *Cortex*, *16*(2), 331-338.
- Mazziotta, J. C., Phelps, M. E., Carson, R. E., & Kuhl, D. E. (1982). Tomographic mapping of human cerebral metabolism: auditory stimulation. *Neurology*, *32*(9), 921-921.
- Mazzoni, M., Moretti, P., Pardossi, L., Vista, M., Muratorio, A., & Puglioli, M. (1993). A case of music imperception. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, *56*(3), 322.
- Mazzucchi, A., Marchini, C., Budai, R., & Parma, M. (1982). A case of receptive amusia with prominent timbre perception defect. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, *45*(7), 644-647.
- McDonald, C., & Stewart, L. (2008). Uses and functions of music in congenital amusia. *Music Perception*, *25*(4), 345-355.
- Mendez, M. F. (2001). Generalized auditory agnosia with spared music recognition in a left-hander. Analysis of a case with a right temporal stroke. *Cortex*, *37*(1), 139-150.
- Menon, V., Levitin, D. J., Smith, B. K., Lembke, A., Krasnow, B. D., Glazer, D., ... & McAdams, S. (2002). Neural correlates of timbre change in harmonic sounds. *Neuroimage*, *17*(4), 1742-1754.
- Merriam, A. P. (Ed.) (1964). *The anthropology of music*. Northwestern University Press.
- Miller, G. F. (2000). Evolution of human music through sexual selection. In N. L. Wallin, B. Merker, & S. Brown (Eds.), *The origins of music* (pp. 329-360). Cambridge, MA: MIT Press.
- Miller, L. (Ed.) (1989). *Musical Savants: Exceptional Skill in the Mentally Retarded*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Milner, B. (1962). Laterality effects in audition. In V. B. Mountcastle (Ed.), *Interhemispheric Relations and Cerebral Dominance* (pp. 177-195). Baltimore: John Hopkins University Press.
- Mioshi, E., Dawson, K., Mitchell, J., Arnold, R., & Hodges, J. R. (2006). The Addenbrooke's Cognitive Examination Revised (ACE-R): a brief cognitive test battery for dementia screening. *International Journal of Geriatric Psychiatry: A journal of the psychiatry of late life and allied sciences*, 21(11), 1078-1085.
- Moreau, P., Jolicœur, P., & Peretz, I. (2009). Automatic brain responses to pitch changes in congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169(1), 191-194.
- Münste, T. F., Altenmüller, E., & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(6), 473-478.
- Nettl, B. (2000). An ethnomusicologist contemplates universals in musical sound and musical culture. *The origins of music*, 3(2), 463-472.
- Nguyen, L., Murphy, K., & Andrews, G. (2019). Immediate and long-term efficacy of executive functions cognitive training in older adults: A systematic review and meta-analysis. *Psychological bulletin*, 145(7), 698-733.
- Nozaradan, S., Schwartze, M., Obermeier, C., & Kotz, S. A. (2017). Specific contributions of basal ganglia and cerebellum to the neural tracking of rhythm. *Cortex*, 95, 156-168.
- Nunes, M., Loureiro, C. M. V., Loureiro, M. A., & Haase, V. G. (2010). Tradução e validação de conteúdo de uma bateria de testes para avaliação de Amusia. *Avaliação Psicológica: Interamerican Journal of Psychological Assessment*, 9(2), 211-232.
- Nunes-Silva, M., & Haase, V. G. (2013). Amusias and modularity of musical cognitive processing. *Psychology & Neuroscience*, 6(1), 45.
- Omigie, D., Müllensiefen, D., & Stewart, L. (2012). The experience of music in congenital amusia. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 30(1), 1-18.

- Panksepp, J., & Panksepp, J. B. (2000). The seven sins of evolutionary psychology. *Evolution and cognition*, 6(2), 108-131.
- Panksepp, J., & Panksepp, J. B. (2001). A continuing critique of evolutionary psychology: Seven sins for seven sinners, plus or minus two. *Evolution and Cognition*, 7(1), 56-80.
- Pantev, C., Engelen, A., Candia, V., & Elbert, T. (2003). Representational cortex in musicians. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 382-395). New York: Oxford University Press.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelen, A., Ross, B., Roberts, L. E., & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392(6678), 811-814.
- Papousek, H. (1996). Musicality in infancy research: Biological and cultural origins of early musicality. In I. Deliège, & J. Sloboda (Eds.), *Musical beginnings: Origins and development of musical competence* (pp. 37-55). Oxford: Oxford University Press.
- Paquette, S., Fujii, S., Li, H. C., & Schlaug, G. (2017). The cerebellum's contribution to beat interval discrimination. *NeuroImage*, 163, 177-182.
- Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of neurophysiology*, 74(3), 1037-1045.
- Patel, A. D. (2003). Language, music, syntax and the brain. *Nature neuroscience*, 6(7), 674-681.
- Patel, A. D., & Balaban, E. (2000). Temporal patterns of human cortical activity reflect tone sequence structure. *Nature*, 404(6773), 80-84.
- Patel, A. D., Peretz, I., Tramo, M., & Labreque, R. (1998). Processing prosodic and musical patterns: a neuropsychological investigation. *Brain and language*, 61(1), 123-144.

- Patel, A. D., Wong, M., Foxton, J., Lochy, A., & Peretz, I. (2008). Speech intonation perception deficits in musical tone deafness (congenital amusia). *Music Perception, 25*(4), 357-368.
- Patterson, R. D., Uppenkamp, S., Johnsrude, I. S., & Griffiths, T. D. (2002). The processing of temporal pitch and melody information in auditory cortex. *Neuron, 36*(4), 767-776.
- Payne, K. (2000). The progressively changing songs of humpback whales: A window on the creative process in a wild animal. In N. L. Wallin, B. Merker, & S. Brown (Eds.), *The origins of music* (pp. 135-150). Cambridge, MA: MIT Press.
- Penagos, H., Melcher, J. R., & Oxenham, A. J. (2004). A neural representation of pitch salience in nonprimary human auditory cortex revealed with functional magnetic resonance imaging. *Journal of Neuroscience, 24*(30), 6810-6815.
- Penhune, V. B., & Doyon, J. (2002). Dynamic cortical and subcortical networks in learning and delayed recall of timed motor sequences. *Journal of Neuroscience, 22*(4), 1397-1406.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., & Evans, A. C. (1998). Cerebellar contributions to motor timing: a PET study of auditory and visual rhythm reproduction. *Journal of cognitive neuroscience, 10*(6), 752-765.
- Penhune, V. B., Zatorre, R. J., MacDonald, J. D., & Evans, A. C. (1996). Interhemispheric anatomical differences in human primary auditory cortex: probabilistic mapping and volume measurement from magnetic resonance scans. *Cerebral cortex, 6*(5), 661-672.
- Peretz, I. (1990). Processing of local and global musical information by unilateral brain-damaged patients. *Brain, 113*(4), 1185-1205.
- Peretz, I. (1993). Auditory atonalia for melodies. *Cognitive Neuropsychology, 10*(1), 21-56.
- Peretz, I. (1996). Can we lose memory for music? A case of music agnosia in a nonmusician. *Journal of Cognitive neuroscience, 8*(6), 481-496.

- Peretz, I. (2001). Listen to the brain: A biological perspective on musical emotions. In P. N. Juslin, & J. A. Sloboda (Eds.), *Music and emotion: Theory and research* (pp. 105-134). Oxford: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2003). Brain specialization for music: new evidence from congenital amusia. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 192-203). New York: Oxford University Press.
- Peretz, I. (2006). The nature of music from a biological perspective. *Cognition*, *100*(1), 1-32.
- Peretz, I. (2013). The biological foundations of music: insights from congenital amusia. In D. Deutsch (Ed.), *The psychology of music* (pp. 551-564). Waltham, MA: Academic Press.
- Peretz, I. (2016). Neurobiology of congenital amusia. *Trends in Cognitive Sciences*, *20*(11), 857-867.
- Peretz, I., Ayotte, J., Zatorre, R. J., Mehler, J., Ahad, P., Penhune, V. B., & Jutras, B. (2002). Congenital amusia: a disorder of fine-grained pitch discrimination. *Neuron*, *33*(2), 185-191.
- Peretz, I., Belleville, S., & Fontaine, S. (1997). Dissociations between music and language functions after cerebral resection: a new case of amusia without aphasia. *Canadian journal of experimental psychology*, *51*(4), 354-368.
- Peretz, I., Blood, A. J., Penhune, V., & Zatorre, R. (2001). Cortical deafness to dissonance. *Brain*, *124*(5), 928-940.
- Peretz, I., Brattico, E., Järvenpää, M., & Tervaniemi, M. (2009). The amusic brain: in tune, out of key, and unaware. *Brain*, *132*(5), 1277-1286.
- Peretz, I., Champod, A. S., & Hyde, K. (2003). Varieties of musical disorders: the Montreal Battery of Evaluation of Amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *999*(1), 58-75.
- Peretz, I., & Coltheart, M. (2003). Modularity of music processing. *Nature neuroscience*, *6*(7), 688-691.

- Peretz, I., Cummings, S., & Dubé, M. P. (2007). The genetics of congenital amusia (tone deafness): a family-aggregation study. *The American Journal of Human Genetics*, *81*(3), 582-588.
- Peretz, I., & Gagnon, L. (1999). Dissociation between recognition and emotional judgements for melodies. *Neurocase*, *5*(1), 21-30.
- Peretz, I., Gagnon, L., & Bouchard, B. (1998). Music and emotion: perceptual determinants, immediacy, and isolation after brain damage. *Cognition*, *68*(2), 111-141.
- Peretz, I., & Hyde, K. L. (2003). What is specific to music processing? Insights from congenital amusia. *Trends in cognitive sciences*, *7*(8), 362-367.
- Peretz, I., & Kolinsky, R. (1993). Boundaries of separability between melody and rhythm in music discrimination: A neuropsychological perspective. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *46*(2), 301-325.
- Peretz, I., Kolinsky, R., Tramo, M., Labrecque, R., Hublet, C., Demeurisse, G., & Belleville, S. (1994). Functional dissociations following bilateral lesions of auditory cortex. *Brain*, *117*(6), 1283-1301.
- Peretz, I., & Morais, J. (1993). Specificity for music. In F. Boller & J. Grafman (Eds.), *Handbook of neuropsychology* (vol. 8, pp. 373-390). Amsterdam: Elsevier.
- Peretz, I., Nguyen, S., & Cummings, S. (2011). Tone language fluency impairs pitch discrimination. *Frontiers in psychology*, *2*, 145.
- Peretz, I., & Vuvan, D. T. (2017). Prevalence of congenital amusia. *European Journal of Human Genetics*, *25*(5), 625-630.
- Peretz, I., Vuvan, D., Lagrois, M. É., & Armony, J. L. (2015). Neural overlap in processing music and speech. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, *370*(1664), 20140090.
- Peretz, I., & Zatorre, R. (2003). Preface. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. v-vi). New York: Oxford University Press.
- Peretz, I., & Zatorre, R. J. (2005). Brain organization for music processing. *Annu. Rev. Psychol.*, *56*, 89-114.

- Piccirilli, M., Sciarra, T., & Luzzi, S. (2000). Modularity of music: evidence from a case of pure amusia. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 69(4), 541-545.
- Pinker, S. (Ed.) (1994). *The language instinct*. New York, NY: William Morrow & Company.
- Pinker, S. (Ed.) (1997). *How the mind works*. New York, NY: Norton & Company.
- Pittrich, H. (1956). Sensorisch Amusie mit Paramusie nach rechtsseitiger Temporalverletzung. *Goettingen Institut fr den Wissenschaftlichen Film*.
- Platel, H., Baron, J. C., Desgranges, B., Bernard, F., & Eustache, F. (2003). Semantic and episodic memory of music are subserved by distinct neural networks. *Neuroimage*, 20(1), 244-256.
- Platel, H., Price, C., Baron, J. C., Wise, R., Lambert, J., Frackowiak, R. S., ... & Eustache, F. (1997). The structural components of music perception. A functional anatomical study. *Brain: a journal of neurology*, 120(2), 229-243.
- Plaut, D. C. (1995). Double dissociation without modularity: Evidence from connectionist neuropsychology. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 17(2), 291-321.
- Plomp, R., & Levelt, W. J. M. (1965). Tonal consonance and critical bandwidth. *The journal of the Acoustical Society of America*, 38(4), 548-560.
- Polk, M., & Kertesz, A. (1993). Music and language in degenerative disease of the brain. *Brain and cognition*, 22(1), 98-117.
- Pötzl, O. and H. Uiberall. (1937). Zur Pathologie der Amusie. *Wien Klin. Wochenschr*, 50, 770-775.
- Pötzl, O. (1939). Zur pathologie der amusie. *Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie*, 165(1), 187-194.
- Price, C., Thierry, G., & Griffiths, T. (2005). Speech-specific auditory processing: where is it?. *Trends in cognitive sciences*, 9(6), 271-276.

- Quartz, S. R., & Sejnowski, T. J. (Eds.) (2002). *Liars, lovers, and heroes: What the new brain science reveals about how we become who we are*. New York: Harper Collins.
- Racette, A., & Peretz, I. (2007). Learning lyrics: to sing or not to sing?. *Memory & cognition*, 35(2), 242-253.
- Radvansky, G. A., Fleming, K. J., & Simmons, J. A. (1995). Timbre reliance in nonmusicians' and musicians' memory for melodies. *Music Perception*, 13(2), 127-140.
- Ramachandran, V. S., & Blakeslee, S. (Eds.) (1998). *Phantoms in the brain: Probing the mysteries of the human mind*. New York: William Morrow.
- Rao, S. M., Bobholz, J. A., Hammeke, T. A., Rosen, A. C., Woodley, S. J., Cunningham, J. M., ... & Binder, J. R. (1997). Functional MRI evidence for subcortical participation in conceptual reasoning skills. *Neuroreport*, 8(8), 1987-1993.
- Rao, S. M., Mayer, A. R., & Harrington, D. L. (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature neuroscience*, 4(3), 317-323.
- Rauschecker, J. P. (1995). Compensatory plasticity and sensory substitution in the cerebral cortex. *Trends in neurosciences*, 18(1), 36-43.
- Rauschecker, J. P. (2003). Functional organization and plasticity of auditory cortex. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 357-365). New York: Oxford University Press.
- Rebok, G. W., Ball, K., Guey, L. T., Jones, R. N., Kim, H. Y., King, J. W., ... & Willis, S. L. (2014). Ten-year effects of the advanced cognitive training for independent and vital elderly cognitive training trial on cognition and everyday functioning in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 62(1), 16-24.
- Regnault, P., Bigand, E., & Besson, M. (2001). Different brain mechanisms mediate sensitivity to sensory consonance and harmonic context: Evidence from auditory event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13(2), 241-255.

- Röder, B., Teder-SaĖlejaĖrvi, W., Sterr, A., Rösler, F., Hillyard, S. A., & Neville, H. J. (1999). Improved auditory spatial tuning in blind humans. *Nature*, *400*(6740), 162-166.
- Rozin, P., Haidt, J., & McCauley, C. R. (1999). Disgust: The body and soul emotion. *Handbook of cognition and emotion*, *429*, 445.
- Saffran, J. R., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1996). Statistical learning by 8-month-old infants. *Science*, *274*(5294), 1926-1928.
- Saffran, J. R., Johnson, E. K., Aslin, R. N., & Newport, E. L. (1999). Statistical learning of tone sequences by human infants and adults. *Cognition*, *70*(1), 27-52.
- Saffran, J. R., Newport, E. L., & Aslin, R. N. (1996). Word segmentation: The role of distributional cues. *Journal of memory and language*, *35*(4), 606-621.
- Sakai, K., Hikosaka, O., Miyauchi, S., Takino, R., Tamada, T., Iwata, N. K., & Nielsen, M. (1999). Neural representation of a rhythm depends on its interval ratio. *Journal of Neuroscience*, *19*(22), 10074-10081.
- Salimpoor, V. N., Benovoy, M., Larcher, K., Dagher, A., & Zatorre, R. J. (2011). Anatomically distinct dopamine release during anticipation and experience of peak emotion to music. *Nature neuroscience*, *14*(2), 257.
- Samson, S., & Zatorre, R. J. (1991). Recognition memory for text and melody of songs after unilateral temporal lobe lesion: evidence for dual encoding. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *17*(4), 793.
- Samson, S., & Zatorre, R. J. (1992). Learning and retention of melodic and verbal information after unilateral temporal lobectomy. *Neuropsychologia*, *30*(9), 815-826.
- Samson, S., Zatorre, R. J., & Ramsay, J. O. (2002). Deficits of musical timbre perception after unilateral temporal-lobe lesion revealed with multidimensional scaling. *Brain*, *125*(3), 511-523.
- Samuels, R. (1998). Evolutionary psychology and the massive modularity hypothesis. *The British Journal for the Philosophy of Science*, *49*(4), 575-602.

- Sapolsky, R. M. (Ed.) (2017). *Behave: The biology of humans at our best and worst*. Penguin.
- Schlaug, G. (2003). The brain of musicians. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 366-381). New York: Oxford University Press.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, *267*(5198), 699-701.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A., & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature neuroscience*, *5*(7), 688-694.
- Schönberg, A. (Ed.) (1984). *Style and idea*. Berkeley: University of California Press.
- Schubotz, R. I., Friederici, A. D., & Von Cramon, D. Y. (2000). Time perception and motor timing: a common cortical and subcortical basis revealed by fMRI. *Neuroimage*, *11*(1), 1-12.
- Schuppert, M., Münte, T. F., Wieringa, B. M., & Altenmüller, E. (2000). Receptive amusia: evidence for cross-hemispheric neural networks underlying music processing strategies. *Brain*, *123*(3), 546-559.
- Schwartz, M., & Kotz, S. A. (2013). A dual-pathway neural architecture for specific temporal prediction. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(10), 2587-2596.
- Seashore, C. E., Lewis, D., & Sæviest, J. G. (Eds.) (1960). *Seashore measures of musical talents: Manual*. New York: Psychological Corporation.
- Seldon, H. L. (1981). Structure of human auditory cortex. I: Cytoarchitectonics and dendritic distributions. *Brain research*, *229*(2), 277-294.
- Semal, C., Demany, L., Ueda, K., & Hallé, P. A. (1996). Speech versus nonspeech in pitch memory. *The Journal of the Acoustical Society of America*, *100*(2), 1132-1140.
- Shepard, R. N. (Ed.) (1990). *Mind sights: Original visual illusions, ambiguities, and other anomalies, with a commentary on the play of mind in perception and art*. New York: WH Freeman.

- Shepard, R. N., & Jordan, D. S. (1984). Auditory illusions demonstrating that tones are assimilated to an internalized musical scale. *Science*, 226(4680), 1333-1334.
- Sidtis, J. J., & Volpe, B. T. (1988). Selective loss of complex-pitch or speech discrimination after unilateral lesion. *Brain and language*, 34(2), 235-245.
- Sihvonen, A. J., Ripollés, P., Leo, V., Rodríguez-Fornells, A., Soinila, S., & Särkämö, T. (2016). Neural basis of acquired amusia and its recovery after stroke. *Journal of Neuroscience*, 36(34), 8872-8881.
- Sihvonen, A. J., Ripollés, P., Särkämö, T., Leo, V., Rodríguez-Fornells, A., Saunavaara, J., ... & Soinila, S. (2017). Tracing the neural basis of music: deficient structural connectivity underlying acquired amusia. *Cortex*, 97, 255-273.
- Silvers, S. (2007). Adaptation, plasticity, and massive modularity in evolutionary psychology: An essay on David Buller's adapting minds. *Philosophical Psychology*, 20(6), 793-813.
- Singer, W. (1995). Development and plasticity of cortical processing architectures. *Science*, 270(5237), 758-764.
- Slater, P. J. (2000). Birdsong repertoires: their origins and use. In N. L. Wallin, B. Merker, & S. Brown (Eds.), *The origins of music* (pp. 49-63). Cambridge, MA: MIT Press.
- Smith, A. (1966). Speech and other functions after left (dominant) hemispherectomy. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 29(5), 467.
- Sloboda, J. A. (1992). Empirical studies of emotional response to music. In M. R. Jones & S. Holleran (Eds.), *Cognitive Bases of Musical Communication* (pp. 33-50). Washington, DC: American Psychological Association.
- Sperber, D. (2002). In defense of massive modularity. In E. Dupoux (Ed.), *Language, brain and cognitive development: Essays in honor of Jacques Mehler* (pp. 47-57). Cambridge, MA: MIT Press.

- Sperber, D. (2005). Modularity and relevance: How can a massively modular mind be flexible and context-sensitive? In P. Carruthers, S. Laurence, & S. Stich (Eds.), *The innate mind: Structure and content* (pp. 53-68). Oxford, England: Oxford University Press.
- Sperber, D., Cara, F., & Girotto, V. (1995). Relevance theory explains the selection task. *Cognition*, *57*(1), 31-95.
- Spreen, O., Benton, A. L., & Fincham, R. W. (1965). Auditory agnosia without aphasia. *Archives of Neurology*, *13*(1), 84-92.
- Standley, J. M., & Moore, R. S. (1995). Therapeutic effects of music and mother's voice on premature infants. *Pediatric Nursing*, *21*(6), 509.
- Steinke, W. R., Cuddy, L. L., & Jakobson, L. S. (2001). Dissociations among functional subsystems governing melody recognition after right-hemisphere damage. *Cognitive Neuropsychology*, *18*(5), 411-437.
- Steinthal, H. (1871). Einleitung in die Psychologie und Sprachwissenschaft. *Abriss der sprachwissenschaft*. Berlin: Dümmlers.
- Stewart, L. (2011). EPS Prize Lecture: Characterizing congenital amusia. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *64*(4), 625-638.
- Stewart, L., Henson, R., Kampe, K., Walsh, V., Turner, R., & Frith, U. (2003). Brain changes after learning to read and play music. *Neuroimage*, *20*(1), 71-83.
- Stewart, L., von Kriegstein, K., Warren, J. D., & Griffiths, T. D. (2006). Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain*, *129*(10), 2533-2553.
- Stobart, H., & Cross, I. (2000). The Andean anacrusis? Rhythmic structure and perception in Easter songs of Northern Potosí, Bolivia. *British Journal of Ethnomusicology*, *9*(2), 63-92.
- Strauss, E., Sherman, E. M., & Spreen, O. (Eds.) (2006). *A compendium of neuropsychological tests: Administration, norms, and commentary*. New York: Oxford University Press.

- Tervaniemi, M. (2003). Musical sound processing: EEG and MEG evidence. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 294-309). New York: Oxford University Press.
- Tervaniemi, M., & Huotilainen, M. (2003). The promises of change-related brain potentials in cognitive neuroscience of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 29-39.
- Tervaniemi, M., Medvedev, S. V., Alho, K., Pakhomov, S. V., Roudas, M. S., van Zuijen, T. L., & Näätänen, R. (2000). Lateralized automatic auditory processing of phonetic versus musical information: a PET study. *Human brain mapping*, 10(2), 74-79.
- Teuber, H. L. (1955). Physiological psychology. *Annual review of psychology*, 6(1), 267-296.
- Thivard, L., Belin, P., Zilbovicius, M., Poline, J. B., & Samson, Y. (2000). A cortical region sensitive to auditory spectral motion. *Neuroreport*, 11(13), 2969-2972.
- Thorpe, L. A., & Trehub, S. E. (1989). Duration illusion and auditory grouping in infancy. *Developmental Psychology*, 25(1), 122.
- Thorpe, L. A., Trehub, S. E., Morrongiello, B. A., & Bull, D. (1988). Perceptual grouping by infants and preschool children. *Developmental psychology*, 24(4), 484.
- Tillmann, B., Albouy, P., & Caclin, A. (2015). Congenital amusias. In G. G. Celesia, & G. Hicock (Eds.), *Handbook of clinical neurology* (vol. 129, pp. 589-605). Elsevier.
- Tillmann, B., Bharucha, J. J., & Bigand, E. (2000). Implicit learning of tonality: a self-organizing approach. *Psychological review*, 107(4), 885.
- Tillmann, B., Janata, P., & Bharucha, J. J. (2003). Activation of the inferior frontal cortex in musical priming. *Cognitive Brain Research*, 16(2), 145-161.
- Tillmann, B., Schulze, K., & Foxton, J. M. (2009). Congenital amusia: A short-term memory deficit for non-verbal, but not verbal sounds. *Brain and cognition*, 71(3), 259-264.

- Tooby, J., & Cosmides, L. (1992). The psychological foundations of culture. In J. H. Barkow, L. Cosmides, & J. Tooby (Eds.), *The adapted mind: Evolutionary psychology and the generation of culture* (pp. 19-136). Oxford, England: Oxford University Press.
- Tooby, J., Cosmides, L., & Barrett, H. C. (2005). Resolving the debate on innate ideas: Learnability constraints and the evolved interpenetration of motivational and conceptual functions. In P. Carruthers, S. Laurence, & S. Stich (Eds.), *The innate mind: Structure and content* (pp. 305-337). New York: Oxford University Press.
- Trainor, L. J., Clark, E. D., Huntley, A., & Adams, B. A. (1997). The acoustic basis of preferences for infant-directed singing. *Infant Behavior and Development, 20*(3), 383-396.
- Trainor, L. J., & Heinmiller, B. M. (1998). The development of evaluative responses to music:: Infants prefer to listen to consonance over dissonance. *Infant Behavior and Development, 21*(1), 77-88.
- Trainor, L. J., & Schmidt, L. A. (2003). Processing emotions induced by music. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 310-324). New York: Oxford University Press.
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1992). The development of referential meaning in music. *Music Perception, 9*(4), 455-470.
- Trainor, L. J., & Trehub, S. E. (1993). Musical context effects in infants and adults: Key distance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 19*(3), 615.
- Tramo, M. J., Bharucha, J. J., & Musiek, F. E. (1990). Music perception and cognition following bilateral lesions of auditory cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience, 2*(3), 195-212.
- Tramo, M. J., Cariani, P. A., Delgutte, B., & Braidia, L. D. (2003). Neurobiology of harmony perception. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 127-151). New York: Oxford University Press.

- Tramo, M. J., Shah, G. D., & Braida, L. D. (2002). Functional role of auditory cortex in frequency processing and pitch perception. *Journal of neurophysiology*, *87*(1), 122-139.
- Trehub, S. E. (2003). Musical predispositions in infancy: an update. In I. Peretz & R. Zatorre (Eds.), *The cognitive neuroscience of music* (pp. 3-20). New York: Oxford University Press.
- Trehub, S. E., & Hannon, E. E. (2006). Infant music perception: Domain-general or domain-specific mechanisms?. *Cognition*, *100*(1), 73-99.
- Trehub, S. E., Hill, D. S., & Kamenetsky, S. B. (1997). Parents' sung performances for infants. *Canadian Journal of Experimental Psychology/Revue canadienne de psychologie expérimentale*, *51*(4), 385.
- Trehub, S., Schellenberg, E. G., & Hill, D. S. (1997). The origins of music perception and cognition: A developmental perspective. In I. Deliège & J. Sloboda (Eds.), *Perception and cognition of music* (pp. 103–128). Psychology Press/Erlbaum (UK) Taylor & Francis.
- Trehub, S. E., & Thorpe, L. A. (1989). Infants' perception of rhythm: Categorization of auditory sequences by temporal structure. *Canadian Journal of Psychology/Revue canadienne de psychologie*, *43*(2), 217.
- Trehub, S. E., Thorpe, L. A., & Trainor, L. J. (1990). Infants' perception of good and bad melodies. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition*, *9*(1), 5.
- Trehub, S. E., & Trainor, L. (1998). Singing to infants: Lullabies and play songs. *Advances in infancy research*, *12*, 43-78.
- Trehub, S. E., Unyk, A. M., Kamenetsky, S. B., Hill, D. S., Trainor, L. J., Henderson, J. L., & Saraza, M. (1997). Mothers' and fathers' singing to infants. *Developmental psychology*, *33*(3), 500.
- Tremblay-Champoux, A., Dalla Bella, S., Phillips-Silver, J., Lebrun, M. A., & Peretz, I. (2010). Singing proficiency in congenital amusia: Imitation helps. *Cognitive neuropsychology*, *27*(6), 463-476.

- Trevarthen, C. (1999). Musicality and the intrinsic motive pulse: evidence from human psychobiology and infant communication. *Musicae scientiae*, 3, 155-215.
- Turk, I. (Ed.). (1997). Mousterian “bone flute” and Other Finds from Divje babe I Cave Site, Slovenia. Ljubljana: Zalozba ZRC.
- Ullman, M. T., Corkin, S., Coppola, M., Hickok, G., Growdon, J. H., Koroshetz, W. J., & Pinker, S. (1997). A neural dissociation within language: Evidence that the mental dictionary is part of declarative memory, and that grammatical rules are processed by the procedural system. *Journal of cognitive neuroscience*, 9(2), 266-276.
- Van Orden, G. C., Pennington, B. F., & Stone, G. O. (2001). What do double dissociations prove?. *Cognitive Science*, 25(1), 111-172.
- Vignolo, L. A. (2003). Music agnosia and auditory agnosia: Dissociations in stroke patients. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 50-57.
- Vos, P. G., & Troost, J. M. (1989). Ascending and descending melodic intervals: Statistical findings and their perceptual relevance. *Music Perception*, 6(4), 383-396.
- Vuvan, D. T., Nunes-Silva, M., & Peretz, I. (2015). Meta-analytic evidence for the non-modularity of pitch processing in congenital amusia. *Cortex*, 69, 186-200.
- Warren, J. (2004). The amusias. In F. C. Rose (Ed.), *Neurology of the arts: Painting, music, and literature* (pp. 275-305). London: Imperial College Press.
- Warren, J. (2008). How does the brain process music?. *Clinical Medicine*, 8(1), 32-36.
- Warren, J. D., Jennings, A. R., & Griffiths, T. D. (2005). Analysis of the spectral envelope of sounds by the human brain. *Neuroimage*, 24(4), 1052-1057.
- Warren, J. D., Uppenkamp, S., Patterson, R. D., & Griffiths, T. D. (2003). Separating pitch chroma and pitch height in the human brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(17), 10038-10042.
- Warren, R. M., Gardner, D. A., Brubaker, B. S., & Bashford Jr, J. A. (1991). Melodic and nonmelodic sequences of tones: Effects of duration on perception. *Music Perception*, 8(3), 277-289.

- Wernicke, C. (1874). Der aphasische Symptomencomplex: eine psychologische Studie auf anatomischer Basis. Cohn & Weigert.
- Wertheim, N. (1969). The amusias. In P. J. Vinken, & G. W. Bruyn (Eds.), Disorders of speech, perception and symbolic behaviour (series title: Handbook of clinical neurology, vol. 4) (pp. 195-206). Amsterdam: New Holland.
- Wertheim, N., & Botez, M. I. (1961). Receptive amusia: a clinical analysis. *Brain*, 84(1), 19-30.
- Whiteford, K. L., & Oxenham, A. J. (2018). Learning for pitch and melody discrimination in congenital amusia. *Cortex*, 103, 164-178.
- Whiteford, K. L., & Oxenham, A. J. (2019). " Learning for pitch and melody discrimination in congenital amusia": Corrigendum.
- Williamson, V. J., McDonald, C., Deutsch, D., Griffiths, T. D., & Stewart, L. (2010). Faster decline of pitch memory over time in congenital amusia. *Advances in Cognitive Psychology*, 6, 15.
- Williamson, V. J., & Stewart, L. (2010). Memory for pitch in congenital amusia: Beyond a fine-grained pitch discrimination problem. *Memory*, 18(6), 657-669.
- Willis, S. L., & Schaie, K. W. (1986). Training the elderly on the ability factors of spatial orientation and inductive reasoning. *Psychology and aging*, 1(3), 239.
- Wilson, S. J., Pressing, J. L., & Wales, R. J. (2002). Modelling rhythmic function in a musician post-stroke. *Neuropsychologia*, 40(8), 1494-1505.
- Wojciulik, E., Kanwisher, N., & Driver, J. (1998). Covert visual attention modulates face-specific activity in the human fusiform gyrus: fMRI study. *Journal of neurophysiology*, 79(3), 1574-1578.
- Wolpert, R. S. (1990). Recognition of melody, harmonic accompaniment, and instrumentation: Musicians vs. nonmusicians. *Music Perception*, 8(1), 95-105.
- Wolpert, R. S. (2000). Attention to key in a nondirected music listening task: Musicians vs. nonmusicians. *Music Perception*, 18(2), 225-230.
- Wong, K. (1997). Neanderthal notes: did ancient humans play modern scales?. *Sci Am*, 277(3), 28-30.

- Xu, D., Liu, T., Ashe, J., & Bushara, K. O. (2006). Role of the olivo-cerebellar system in timing. *Journal of Neuroscience*, 26(22), 5990-5995.
- Young, M. P., Hilgetag, C. C., & Scannell, J. W. (2000). On imputing function to structure from the behavioural effects of brain lesions. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1393), 147-161.
- Zatorre, R. J. (1985). Discrimination and recognition of tonal melodies after unilateral cerebral excisions. *Neuropsychologia*, 23(1), 31-41.
- Zatorre, R. J. (1988). Pitch perception of complex tones and human temporal-lobe function. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(2), 566-572.
- Zatorre, R. J. (2003). Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nature neuroscience*, 6(7), 692-695.
- Zatorre, R. J., & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral cortex*, 11(10), 946-953.
- Zatorre, R. J., Belin, P., & Penhune, V. B. (2002). Structure and function of auditory cortex: music and speech. *Trends in cognitive sciences*, 6(1), 37-46.
- Zatorre, R. J., Evans, A. C., & Meyer, E. (1994). Neural mechanisms underlying melodic perception and memory for pitch. *Journal of neuroscience*, 14(4), 1908-1919.
- Zatorre, R. J., Halpern, A. R., Perry, D. W., Meyer, E., & Evans, A. C. (1996). Hearing in the mind's ear: a PET investigation of musical imagery and perception. *Journal of cognitive neuroscience*, 8(1), 29-46.
- Zatorre, R. J., & Salimpoor, V. N. (2013). From perception to pleasure: music and its neural substrates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110, 10430-10437.
- Zatorre, R. J., & Samson, S. (1991). Role of the right temporal neocortex in retention of pitch in auditory short-term memory. *Brain*, 114(6), 2403-2417.

Zentner, M. R., & Kagan, J. (1996). Perception of music by infants. *Nature*, 383(6595), 29-29.

Zentner, M. R., & Kagan, J. (1998). Infants' perception of consonance and dissonance in music. *Infant Behavior and Development*, 21(3), 483-492.

Zhao, T. C., Lam, H. G., Sohi, H., & Kuhl, P. K. (2017). Neural processing of musical meter in musicians and non-musicians. *Neuropsychologia*, 106, 289-297.