

Revisão sobre o processamento neuropsicológico dos atributos tonais da música no contexto ocidental

Review about neuropsychological processing of tonal attributes of music in the Western context

Revisión del procesamiento neuropsicológico de los atributos tonales de la música en el contexto occidental

JANDILSON AVELINO DA SILVA*
MELYSSA KELLYANE CAVALCANTI GALDINO**
MARIA JOSÉ NUNES GADELHA*
MICHAEL JACKSON OLIVEIRA DE ANDRADE*
NATANAEL ANTONIO DOS SANTOS***

Universidade Federal da Paraíba

Resumo

Muitas discussões a respeito do processamento musical têm ocorrido ao longo dos anos. Afirma-se, por um lado, a existência de um sistema único comum para a apreensão da música ou de qualquer um de seus atributos pelo Sistema Nervoso Central. Por outro lado, alega-se também a existência de sistemas múltiplos e diversos para a compreensão de cada um desses aspectos da música. De forma geral, independente do modelo definido, estudos focados no processamento dos componentes sonoros, mais especificamente dos tons musicais, podem esclarecer de forma importante o funcionamento básico do sistema auditivo e de outras funções cerebrais superiores. Nesse sentido, uma das abordagens de maior destaque no estudo desses processos sensoriais e perceptivos da audição, ílesos ou alterados, tem sido a Neurociência, que se interessa pela interação entre as áreas do encéfalo correspondentes aos diferentes processos cognitivos. Assim, a finalidade desta pesquisa foi revisar estudos que

tratassem dos modelos de processamento dos atributos tonais da música ocidental, baseando-se na concepção neuropsicológicas de que as estruturas neurais são interdependentes das vias sensoriais.

Palavras-chave: percepção auditiva, processamento musical, percepção tonal, neurociência

Abstract

Many discussions about the music processing have occurred over the years. It is stated, on one hand, the existence of a single joint for grasping the music or any of its attributes by the Central Nervous System. Furthermore, it is claimed also the existence of multiple and diverse systems to understand each aspect of music. In general, model-independent set, studies focusing on the processing of sound components, specifically the musical tones, can significantly clarify the basic functioning of the auditory system and other higher brain functions. In this sense, one of the most prominent approaches in the

* Psicólogos, Doutorandos e Mestres em Psicologia pela Universidade Federal da Paraíba, Brasil. Contato: jandilsonsilva@gmail.com

** Psicóloga, Professora do Departamento de Psicologia da Universidade Federal da Paraíba, Brasil, e Doutora em Neuropsiquiatria e Ciências do Comportamento pela Universidade Federal do Pernambuco, Brasil.

*** Professor do Departamento de Psicologia da Universidade Federal da Paraíba, Brasil, e Doutor em Neurociências e Comportamento pela Universidade de São Paulo, Brasil.

Para citar este artículo: Silva, J. A., Galdino, M. K. C., Gadelha, M. J. N., Andrade, M. J. O., & Santos, N. A. (2013). Revisão sobre o processamento neuropsicológico dos atributos tonais da música no contexto ocidental. *Avances en Psicología Latinoamericana*, 31 (1), pp. 86-96.

study of sensory and perceptual processes of hearing, or changed unharmed, has been Neuroscience, which is interested in the interaction between the brain areas corresponding to different cognitive processes. Thus, the purpose of this study was to review the studies that dealt processing models of the attributes of tonal Western music, based on the conception that neuropsychological neural structures are interdependent sensory pathways. *Keywords:* auditory perception, musical processing, pitch perception, neuroscience.

Resumen

En los últimos años se han llevado a cabo gran número de discusiones acerca del procesamiento de la música. Se afirma, por un lado, la existencia de un único sistema para la aprehensión de la música o de cualquiera de sus atributos por el sistema nervioso central. Por otra parte, se aduce la existencia de sistemas múltiples y diversos para la comprensión de cada uno de los aspectos de la música. En general, con independencia del modelo definido, los estudios centrados en el procesamiento de los componentes sonoros, específicamente de los tonos musicales, pueden aclarar el funcionamiento básico del sistema auditivo y otras funciones superiores del cerebro. En este sentido, uno de los enfoques más importantes en el estudio de los procesos sensoriales y perceptivos de la audición, normales o patológicos, ha sido la neurociencia, la cual se interesa en la interacción entre las áreas del cerebro que corresponden a diferentes procesos cognitivos. Por lo tanto, el propósito de este estudio fue revisar los estudios que se ocupan de los modelos de procesamiento de los atributos de la música occidental tonal, basados en la idea de que las estructuras neurales son interdependientes de las vías sensoriales.

Palabras clave: percepción auditiva, procesamiento musical, percepción tonal, neurociencia

Os indivíduos são constantemente impelidos a perceber, distinguir e identificar os sinais do meio ambiente acústico (Overath et al., 2007). A música é compreendida como a arte de combinar sons e coordenar fenômenos acústicos de maneira cômoda e prazerosa aos ouvidos (Machado & Borloti, 2009). Para Deus e Duarte (1997), ela é também um elemento cultural que tem sido encontrado desde os

homens das cavernas, seja como estimulante ou como relaxante, e ainda como facilitador dos contatos sociais. No homem primitivo, a linguagem musical, de forma rudimentar, precedeu a linguagem falada (Deus & Duarte, 1997).

Segundo Omar, Hailstone, Warren, Crutch e Warren (2010), o conhecimento da música é multidimensional, envolvendo ramos como composições, instrumentos e notações musicais. Ainda assim, a música é considerada uma linguagem universal, na medida em que sua percepção global ocorre mesmo que não se tenha realizado uma preparação formal para isso (Deus & Duarte, 1997; Ogasawara, 2008; Rui & Steffani, 2007).

Além das questões antropológicas e sociais relacionadas ao entendimento da música enquanto produto final, questões mais específicas ligadas ao processamento de seus atributos componentes devem ser mencionados. A percepção da música se trata do processamento de ondas sonoras dentro de uma linguagem musical, e deste modo está pautada na percepção sonora de aspectos físicos do som. Em termos neuropsicológicos, isso significa que qualquer música pode ser decomposta em seus atributos principais para que seja processada externa (por meio dos órgãos sensoriais respectivos) e internamente (por meio do encéfalo) pelo Sistema Nervoso Central (SNC). Dessa forma, a Neurociência, enquanto área que se preocupa com as relações entre SNC e os aspectos sensoriais, perceptivos e cognitivos tem se destacado ao longo dos anos, desde os primeiros estudos experimentais acerca da música, na formulação de modelos de compreensão do processamento musical (Goldstein, 2007; Kandel, 2003; Levitin, 2010; Schiffman, 2005).

A música começou a ser observada em pesquisas de laboratório por volta do século XIX (Campos, 2006). Em 1865, Boillaud realizou um dos primeiros estudos acerca da neuropsicologia dos atributos musicais. Ele registrou em sua pesquisa vários casos de diferentes tipos de deficiências na compreensão dos diversos atributos musicais decorrentes de lesões no cérebro de indivíduos de sua época (Andrade, 2004).

Nas últimas décadas, particularmente, tem sido crescente o interesse no estudo das bases cognitivas e neurológicas do processamento musical (Omar

et al., 2010). Esses estudos vão da acústica, que é a ciência propriamente dita do som, passando pela psicoacústica, que é o estudo de como o cérebro percebe o som, até os estudos em psicoacústica musical, que examinam aspectos da percepção e da performance musicais (Campos, 2006). Nesse último campo são importantes as pesquisas relacionadas à fonologia musical, que tratam de estudar o processo de agrupamento e de incremento dos sons básicos na formação de peças musicais mais complexas (Ogasawara, 2008).

Dessa forma, portanto, o estudo do processamento musical em suas bases neurais tem sido importante na apreensão desses processos sensorio-perceptivos e cognitivos da audição, íntegros ou alterados. O conhecimento a respeito do processamento musical pode ser importante referente na discussão de questões sociais, clínicas e neurobiológicas relacionadas aos aspectos auditivos (McDermott & Oxenham, 2008; Omar et al., 2010). E deste modo, o objetivo desta pesquisa foi revisar estudos que tratassem dos modelos de processamento dos atributos da música ocidental, baseando-se na concepção de que as estruturas neurais são interdependentes das vias sensoriais, e que, portanto, servem de base para o processamento auditivo de forma geral, bem como para seus aspectos mais específicos como o processamento musical.

Processamento neuropsicológico dos atributos musicais

Dentro das neurociências há quem considere a música como produto de um arranjo cerebral que é usado também para outros processos cognitivos (Pinker, 1999), enquanto que outros analisam a existência de organizações neurológicas específicas que podem estar ligadas à percepção da música (Peretz, 2001; Zatorre, 2001). Estes últimos acreditam que o córtex auditivo é configurado para extrair informações específicas da música (Trainor, McDonald & Alain, 2002).

Andrade (2004), por exemplo, sugere que o treinamento da performance musical pode desenvolver habilidades espaciais e matemáticas. Ele indica que podem ocorrer alterações plásticas nos cérebros dos músicos, como o aumento das conexões do corpo

caloso na parte mais frontal (responsável por implicações motoras e cognitivas), ou da área de Broca (associada com a linguagem e com os processos viso-espaciais).

Rodrigues, Guerra e Loureiro (2006), do mesmo modo, realizando comparações neurológicas entre músicos e não músicos sugerem a atuação de determinadas regiões encefálicas responsáveis por outras atividades cognitivas no processamento musical. Os autores encontraram alterações anatômicas e funcionais, representadas pelo aumento de tamanho ou da taxa de funcionamento nos campos do plano temporal do hemisfério esquerdo do cérebro, da região anterior do corpo caloso (Schlaug, Jäncke, Huang & Steinmetz, 1995a; 1995b), e do cerebelo (Schlaug, 2001). As alterações encontradas no cerebelo foram vistas apenas em pessoas do sexo masculino.

O estudo de Elbert, Pantev, Wiendbruch, Rockstroh e Taub, (1995) mostrou que existe uma maior representação dos dedos da mão esquerda de violinistas no córtex sensorial primário, bem como uma maior representação cortical auditiva para tons tocado no piano (Pantev et al., 1998). Nessas pesquisas, as citadas áreas aparecem como mais desenvolvidas quanto mais jovens as pessoas tenham começado a realizar estudos musicais (Rodrigues, Guerra, & Loureiro, 2006).

Em outros estudos (Schmithorst & Holland, 2003; Sluming, Barrick, & Howard, 2002) foram revelados aumentos na densidade de substância cinzenta da área de Broca, importante para a linguagem falada e para as localizações espaciais, visuais e auditivas. Foi encontrado também o uso de diferentes redes neurais nas regiões parietais inferiores para a percepção de harmonia e melodia, respectivamente nas áreas 39 e 40 de Brodmann, envolvidas também no processamento visuoespacial. Segundo Trainor et al. (2002), entre as muitas regiões do encéfalo que estão envolvidas no processamento melódico, incluem-se as regiões temporal e frontal, e o tálamo.

Independente das especializações neurais, a compreensão do processamento musical no encéfalo produz esclarecimentos importantes sobre o funcionamento básico do córtex auditivo e das funções cerebrais superiores. A audição musical,

além de envolver mecanismos perceptuais básicos no processamento dos eventos auditivos, envolve outros aspectos da cognição (Andrade, 2004).

Elementos básicos da música, como contornos (padrões de subida e de descida das notas musicais) e intervalos (distância de tom entre as notas musicais) melódicos são codificados automaticamente, inclusive pelo cérebro de não músicos (Trainor et al., 2002). No entanto, Trainor, Desjardins, e Rockel (1999) afirmam que a detecção de mudanças nos intervalos melódicos depende de formação musical, enquanto que o contorno melódico é processado de forma semelhante para qualquer pessoa.

A música, do mesmo modo que a linguagem verbal, consiste na organização intencional dos sons baseada na modulação de suas propriedades espectrais (tons) e temporais (ritmo) para a produção de um significado (Andrade, 2004). Deste modo, modelos derivados da compreensão dos elementos verbais têm sido aplicados aos domínios de conhecimento não-verbal, como a música (Omar et al., 2010).

Para Omar et al. (2010), a música é comparável à linguagem falada, em complexidade, na sua extensa utilização de artifícios sensoriais e símbolos abstratos, e na riqueza das suas associações semânticas. A neuropsicologia do conhecimento musical, por exemplo, tem sido fortemente influenciada pelo estudo de pacientes com déficit verbal. No entanto, embora existam muitas semelhanças formais entre a música e a língua falada, os processos cognitivos que as sustentam são independentes (Correia, Muszkat, Vicenzo, & Campos, 1998), e os mecanismos do cérebro responsáveis pelas mesmas, permanecem controversos. No domínio da música, o quadro é ainda menos visivelmente definido. Embora pareça claro que ela tem uma arquitetura modular na organização cognitiva, ou seja, seus diferentes atributos são compreendidos por processos diferentes, o status desses módulos e suas supostas relações neuropsicológicas ainda são amplamente debatidas (Omar et al., 2010).

Análises criteriosas de estudos em pacientes com danos neurológicos sugerem que a percepção musical envolve ambos os hemisférios cerebrais. Sugerem também que as amusias (um tipo de agnosia auditiva, na qual a pessoa não é capaz de reconhecer melodias) geralmente ocorrem associadas

às afasias (que se tratam das incapacidades na fala) (Andrade, 2004).

As disfunções nas capacidades musicais são dificilmente aludidas entre os problemas neuropsicológicos, principalmente pela pouca quantidade de testes adequados para avaliação dessas habilidades. No entanto, a performance musical pode contribuir de forma importante para a avaliação operacional das atividades cognitivas (Correia et al., 1998).

De acordo com Omar et al. (2010), os mecanismos cerebrais que processam o significado da música têm sido abordados principalmente por imagens das funções cerebrais e por análises eletrofisiológicas de indivíduos que não sofreram nenhum tipo de lesão cerebral, e em estudos clínicos de indivíduos com lesão cerebral focal. Segundo Correia et al. (1998), a correlação entre elementos perceptuais e a dominância cerebral possibilitam uma melhor compreensão das funções cognitivas tanto em relação ao papel dos hemisférios cerebrais, quanto da colaboração funcional entre ambos. Segundo o modelo do processamento musical de Peretz (2001), ambos os lobos temporais estão envolvidos. Nesse modelo, o hemisfério direito atua no processamento tonal (particularmente, a parte central do giro temporal superior, onde se localiza o córtex auditivo primário, e as áreas circundantes, do córtex auditivo secundário). Já o hemisfério esquerdo, atua no processamento temporal. Acredita-se também que exista uma organização dos hemisférios de forma hierárquica de modo que o funcionamento se dá do hemisfério direito para o esquerdo (Andrade, 2004).

Porém, de acordo com Correia et al. (1998), a performance de músicos para alguns desses aspectos musicais pode se dar de forma diferente da população em geral, já que eles possuem um histórico de aprendizagem e treinamento nesta área. Assim, os músicos podem desenvolver o conjunto de habilidades musicais nos dois hemisférios cerebrais.

Estudos desenvolvidos sobre os atributos sonoros tonais no contexto da música ocidental

Para Trainor et al. (2002), os elementos ou atributos sonoros são codificados através das informações gerais do contorno melódico, que consistem nos pa-

drões de mudanças do tom para cima ou para baixo sem levar em conta o tamanho dos mesmos e das informações específicas de intervalo que consistem na distância exata da altura entre os tons sucessivos.

Os contornos melódicos são cruciais tanto para a compreensão da prosódia da fala quanto para o entendimento da estrutura musical. Contudo, as informações de intervalo são privativas para a música, permitindo o surgimento de estruturas escalares e harmônicas, e de sequências de tons que distinguem os diferentes sistemas musicais (Trainor et al., 2002).

Na atualidade, a escala ocidental utilizada é a que foi criada por J. S. Bach (1685-1750) que padronizou as frequências das notas musicais através de uma regra lógica. Essa escala é chamada de Escala Musical Dodecafônica, por ser constituída no piano por 12 sons equivalentes a teclas pretas e brancas, cada uma delas tendo um aumento na frequência de aproximadamente 5% em relação à nota da tecla anterior (Levitin, 2010; Mattos, 2010).

O piano é o instrumento musical que possui uma ampla extensão sonora, que é a faixa de variação que vai da frequência mais baixa a mais alta (Viana, 1998). Ele possui 88 teclas, sendo 52 brancas correspondendo aos tons, e 36 pretas correspondentes aos semitons (Viana et al., 1998). As teclas brancas correspondem ao conjunto das sete notas musicais padrão, que são: Dó, Ré, Mi, Fá, Sol, Lá e Si (Ulloa, 2008).

Segundo Sousa (2010) e Ulloa (2008), essa notação musical tem suas origens na Idade Média, quando um monge beneditino francês nascido no fim do século X, chamado Guido de Arezzo, elaborou um sistema simplificado com o intento de facilitar o ensino da escrita e leitura musical. Para isso, ele aproveitou-se das iniciais dos versos em latim da seguinte estrofe de um hino cantado em louvor ao santo católico João Batista: “Ut quant laxis / Resonare fibris / Mira gestorum / Famuli tuorum / Solve polluti / Labii reatum / Sancte Iohannes” (Para que teus servos / Possam, das entranhas / Flautas ressoar / Teus feitos admiráveis / Absolve o pecado / Desses lábios impuros / Ó São João).

Segundo Lima (2008) e Sousa (2010) posteriormente, o próprio Guido resolveu que a última nota musical deveria mudar de Sa para Si home-

nageando mais uma vez São João Batista (Sancte Iohannes). Já o Dó foi inserido em uma revisão desse sistema de notação no século XVII, pelo músico italiano Doni. A mudança se deu porque o músico acreditava que era difícil solfejar (realizar a leitura das notas musicais) com a nota Ut, por terminar em uma consoante surda, substituindo-a assim pela sílaba inicial de seu nome.

Além desse grupo de notas musicais padrão, existem suas variações que são chamadas semitons por se localizarem entre elas. Os semitons correspondem às teclas pretas e são representados pela própria nota musical acrescido dos símbolos “b” (bemol) quando o semitom é considerado de forma descendente em relação a uma nota musical específica e “#” (sustenido) quando de forma ascendente (Goldstein, 2005; Mattos, 2010; Ulloa, 2008).

O intervalo de frequências que abrange um conjunto de 13 teclas brancas e pretas no piano, referentes ao mesmo número de notas (de Dó a Dó), é chamado de oitava, por conter oito teclas brancas. Cada uma das notas musicais (os tons) e de suas variações (os semitons) corresponde a um valor específico de frequência do som. Quando se avança uma oitava (12 notas para frente) a frequência da nota dobra (Mattos, 2010).

Na década de 50, convencionou-se o padrão de 440 Hz para a nota Lá central, localizada na quarta oitava do piano, como referência para a afinação de qualquer instrumento musical. Essa convenção foi elaborada pela Organização Internacional de Padronização (*International Standardizing Organization* - ISO). Na Tabela 1, são apresentadas as frequências das notas musicais localizadas na oitava central do piano.

Ao longo da história da música ocidental, percorreram-se diferentes padrões em torno deste valor. No entanto, na atualidade, as frequências de outras notas musicais em uma mesma oitava ou em oitavas diferentes são estabelecidas a partir deste valor padrão (Dourado, 2008; Ulloa, 2008). As notas musicais são diferentes frequências sonoras relacionadas ao tom (Levitin, 2010).

O tom é uma sensação subjetiva, na qual um ouvinte atribui ao som percebido uma posição relativa em uma escala musical baseada principalmente na frequência de vibração. A *Just-Noticeable Diffe-*

Tabela 1
Simbologia das notas musicais em português e em inglês na quarta oitava do piano com suas respectivas frequências aproximadas em Hz

Símbolo em português	Símbolo em inglês	Cor da tecla no piano	Frequência
Dó	C	Branca	261
Dó # ou Ré ^b	C # ou D ^b	Preta	277
Ré	D	Branca	293
Ré # ou Mi ^b	D # ou E ^b	Preta	311
Mi	E	Branca	329
Fá	F	Branca	349
Fá # ou Sol ^b	F # ou G ^b	Preta	370
Sol	G	Branca	392
Sol # ou Lá ^b	G # ou A ^b	Preta	4415
Lá	A	Branca	440
Lá # ou Si ^b	A # ou B ^b	Preta	466
Si	B	Branca	493
Dó	C	Branca	523

Nota. De “As notas musicais”, de A. C. Mattos (2010). Acessado em 22 de agosto, 2010, em http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS_MUSICAIS/Textos/Div/notas.htm.

rence (JDN), ou diferença perceptível, trata-se do limiar diferencial que é o mínimo de estímulo necessário para que uma dada mudança no ambiente seja percebida. A JDN entre mudanças percebidas nos sons depende de suas frequências de tom, equivalendo a cerca de 0.36 Hz em frequências dentro de uma oitava de 1000 a 2000 Hz, mas cerca de 2 Hz dentro de uma oitava de 62 a 125 Hz (Goldstein, 2005; Olson, 1967).

Segundo Olson (1967), embora seja em menor grau, o tom depende também do nível de pressão sonora, que se refere à intensidade ou volume do som, especialmente nas frequências abaixo de 1000 Hz e acima de 2000 Hz. Os tons mais baixos diminuem com o aumento da pressão sonora. Já os tons mais altos aumentam quando o som é elevado em intensidade. Esse fenômeno ocorre em outros sentidos humanos que também respondem à magnitude do estímulo, podendo ser obtido objetivamente através de formulações matemáticas e

físicas indicadas na lei de Weber-Fechner. Essa lei descreve a relação entre uma progressão aritmética e uma geométrica existente entre a sensação e a intensidade dos estímulos (Schiffman, 2005).

As músicas, de forma geral, são formadas por sucessões de tons (Viana, Cavalcanti, & Alsina, 1998) que são associados a uma convenção simbólica padrão. Essa simbologia, que pode ser chamada de notação musical, torna possível a tradução dos sons musicais em um conjunto de sinais grafados (Ogasawara, 2008).

A notação musical indica a frequência fundamental de um som que deve ser tocado, quando se faz uso de algum instrumento musical (Ogasawara, 2008). Para tanto, essa notação baseia-se nos tons que são quantificados como frequências em ciclos por segundo, ou simplesmente em Hz (Plack, Oxenham, Fay, & Popper, 2005).

O tom está relacionado à frequência, mas estes atributos não são equivalentes, pois a frequência é uma medida objetiva do tom (Clynes, 1982). O sistema de percepção auditiva dos humanos pode ter dificuldade em distinguir as diferenças de frequências em certas circunstâncias (Olson, 1967).

A percepção do tom de sons complexos pode ser ambígua, dependendo, por exemplo, da atenção do ouvinte (Clynes, 1982). Além disso, mesmo que a frequência fundamental real seja precisamente determinada através de medição física, ela pode ser diferente do tom percebido por causa das frequências dos seus múltiplos inteiros, isto é, dos harmônicos. Isso ajudar a perceber que as ondas sonoras por elas mesmas não possuem tons. Suas oscilações podem ser medidas para se obter uma frequência, mas é preciso um cérebro humano para mapeá-las nas qualidades internas do tom (Olson, 1967).

Os tons são equivalentes aos fonemas de uma língua. Tanto os tons quanto os fonemas são sons básicos que se relacionam diretamente a determinadas frequências de onda sonora. Esse é um dos motivos pelos quais as análises feitas através dos tons ou notas musicais podem ser úteis para a avaliação da língua falada e da percepção auditiva de forma geral (Goldstein, 2005; Ogasawara, 2008). Soncini e Costa (2006) sugerem que a prática musical é uma atividade que melhora a habilidade de reconhecimento da fala.

Nessa direção, alguns outros estudos têm sido realizados em termos de processamento do tom. No entanto, grande parte dessa literatura está voltada para o desenvolvimento de softwares utilizando a escuta de notas musicais para o treinamento da percepção musical tonal (Tomedi, 2002; Jesus, Uriarte, & Raabe, 2007; Neto & Matos, 2009). Contudo, uma série de estudos tem utilizado também métodos que medem em animais ou humanos a percepção e a discriminação do tom, o tempo de reação ao tom, as diferenças no processamento do tom em diferentes gêneros, e/ou na utilização de substâncias tóxicas, como as bebidas alcoólicas, entre outras variáveis.

Sloan, Dodd & Rennaker (2009), analisando a habilidade de discriminação de sons, por exemplo, compararam a discriminação de frequências por ratos albinos em duas tarefas distintas. A primeira requirava a detecção de uma mudança instantânea da frequência, relacionada à fase, dentro de um tom de referência permanente. A segunda requeria a detecção de uma mudança de frequência entre as reproduções de uma sequência de referência de tons discretos repetidos.

Para cada tarefa, o limiar diferencial de frequência foi medido em uma faixa de referência de 2.31 a 27.7 kHz a 60 dB em nível de pressão sonora, com deslocamentos de frequência para cima e para baixo. Todos os 24 indivíduos aprenderam rapidamente a primeira tarefa, mas apenas 13 aprenderam também a segunda. O desempenho dos sujeitos em cada uma delas melhorou em média com o aumento da frequência de referência e, em ambas as tarefas os limiares de mudança ascendente da frequência foram significativamente maiores do que os limiares de mudanças descendentes.

Já Walker, Schnupp, Sheelah, Hart-Schnupp, King e Bizley (2009) treinaram quatro furões (*Mustela putorius*) para o método de escolha forçada entre duas alternativas em uma tarefa de discriminação de sons que eram maiores ou menores que um som de referência, utilizando tons puros e vogais artificiais como estímulos. A tarefa dos furões era indicar se a frequência fundamental do som-alvo era maior ou menor do que a referência ativando respectivamente bicos periféricos à di-

reita ou esquerda. Cinco humanos adultos (dois do sexo masculino, com idades entre 24-40 anos) foram também testados em uma tarefa similar de discriminação de tom. Os ouvintes humanos que não possuíam experiência anterior superaram os furões na presente tarefa, mas apontaram efeitos similares quanto ao tipo de estímulo e de referência. Estes pesquisadores sugeriram, então, que quando os animais podem ser treinados para nomear sons complexos, como mais altos ou mais baixos que determinado tom, essa tarefa pode ser muito mais difícil para os animais e que não se trata de uma simples detecção de mudança na frequência.

Pfordresher e Brown (2009) exploraram a capacidade de utilização de tons na língua nativa para analisar as habilidades de imitação e discriminação de determinadas frequências sonoras. Eles conduziram dois estudos sugerindo que os indivíduos cuja língua materna é uma língua tonal (na qual o tom contribui para o significado da palavra), são mais capazes de imitar e discriminar perceptivamente os tons musicais. Participaram do primeiro estudo, no qual se comparou os resultados de falantes de língua tonal (Mandarin, por exemplo) e não tonal (Inglês), 12 estudantes universitários falantes de língua tonal com média de 19 anos, sendo metade deles do sexo feminino, e 12 falantes de língua não tonal com média de 21 anos. No segundo estudo participaram 22 estudantes, também universitários, sendo metade deles falante de uma língua tonal (6 mulheres e 5 homens), com média de 28 anos e a outra metade falantes de uma língua não tonal (5 mulheres e 6 homens), idade média de 20 anos. Em cada estudo o participante passava por três testes diferentes. Um teste era de imitação de tons, e outros dois de discriminação de notas e de discriminação de intervalos, respectivamente. Para a discriminação de notas eram apresentados pares de notas musicais, sendo a primeira sempre um Dó em quinta oitava e a segunda variando entre a mesma nota ou outra diferente da primeira que se alterava em frequências de 8, 15, 30, 61, 122, 183, e 250 Hz, de forma ascendente ou descendente. O participante tinha que dizer “sim” quando o par de notas apresentado fosse composto por notas diferentes, ou “não” quando fossem iguais. A dis-

criminação de notas nos dois estudos foi melhor para os indivíduos que tinham como língua nativa uma língua tonal.

Outro estudo realizado por Brancucci, Dipinto, Mosesso, e Tommasi (2009), com cinquenta e dois músicos italianos voluntários (36 homens e 16 mulheres) com média de idade de 25.2, analisou o fenômeno do ouvido absoluto. Esse fenômeno trata-se da capacidade de nomear o tom de um som sem o uso de qualquer referência externa (Levitin, 2010). Esse estudo avaliou se quando os indivíduos erravam na identificação de um tom musical tendiam a confundir mais frequentemente o nome da nota correspondente com outro nome de nota que continha a mesma vogal (o que os experimentadores chamaram de Mesmo Erro) do que com o nome do tom que continha uma diferente vogal (chamado de Erro Diferente). Os pares de nota que podiam ser confundidos com base na vogal eram Dó-Sol, Si-Mi, Fá-Lá. O número de “Mesmos Erros” cometidos foi comparado com o número de “Erros Diferentes”. As respostas foram dadas em dois testes distintos. Em um primeiro, todos os nomes das notas estavam dispostos na tela de um computador, e após ouvir o som, o participante deveria clicar no nome da nota que ela acreditava ter ouvido. No segundo teste era apresentado um teclado sem indicação do nome das notas, e o participante deveria clicar sobre a tecla que ele acreditava ser correspondente ao tom que ele tinha ouvido. Os resultados de Brancucci et al. mostraram que os músicos que não possuíam ouvido absoluto confundiam mais frequentemente as notas que tinham uma vogal semelhante no nome. Eles tendiam a confundir, por exemplo, um tom de 261 Hz (Dó) mais frequentemente com a nota Sol do que, um Sol com um Lá.

Moore e Vinay (2009) testaram dois grupos de sujeitos com e sem lesões na porção basal da cóclea, região responsável por processar os sons de alta frequência. Doze indivíduos de 22 a 74 anos diagnosticados com perda auditiva neurosensorial para frequências altas participaram do estudo. Eles utilizaram o método da escolha forçada entre duas alternativas. A tarefa do participante era escolher a alternativa em que um som mudava ao longo de quatro apresentações dentro de um intervalo de tom.

Os intervalos eram indicados por caixas na tela do computador (denominadas 1 e 2). A resposta poderia ser feita clicando em uma das duas caixas usando o mouse do computador ou usando as teclas “1” e “2” no teclado numérico. Moore e Vinay (2009) concluíram que uma região morta para altas frequências é associada com uma melhor capacidade de processar informações em baixas frequências. Estes efeitos podem refletir a plasticidade cortical induzida pela zona morta.

Antunes e Gouveia Jr. (2009), em um estudo com 17 homens e 17 mulheres que verificou o desempenho em uma tarefa de discriminação sonora, usando notas musicais, sugeriram que as habilidades musicais são diferentes nos homens e nas mulheres. Cada participante escutava 20 faixas de um CD, cada uma delas composta por 10 sons. Cinco desses sons eram diferentes, e cinco eram iguais e estavam dispostos de forma intercalada entre os sons diferentes. O primeiro dos sons era o modelo. Os participantes tinham que identificar qual dos sons diferentes apresentados em cada faixa equivalia ao estímulo modelo, que eram sempre terças e quintas harmônicas retiradas das duas oitavas centrais do piano. Antunes e Gouveia Jr. não encontraram diferenças estatísticas significantes entre o desempenho de homens e mulheres, no entanto, concluíram que as mulheres apresentam melhor desempenho quando não possuem experiência prévia na discriminação de sons e os homens apresentam melhor desempenho quando são experientes neste aspecto.

Diferentemente, Zaidan, Garcia, Tedesco e Baran (2008), realizaram um estudo comparativo de gênero do desempenho de 25 universitários, sendo 11 homens e 14 mulheres, a partir de testes de resolução temporal, no qual encontrou diferenças entre homens e mulheres. Eles utilizaram os testes *Random Gap Detection Test* (RGDT) e *Gapsin-Noise* (GIN), que analisam o tempo de reação a determinadas frequências sonoras. Tanto o RGDT quanto o GIN têm por objetivo a determinação do limiar de um “gap” (intervalo de silêncio) medido em milissegundos (ms) a partir de sua apresentação binaural inserido entre pares de tons puros. Em ambos, o gap aumenta e diminui de duração aleatoriamente e o participante é orientado a dizer se

ouviu um ou dois estímulos. A diferença entre eles é que no GIN, cada *gap* ocorre por seis vezes e o limiar de detecção é o menor intervalo detectado em quatro das apresentações de determinada duração. Já para a medida do limiar de *gap* no RGDT é feita uma média aritmética de todos os intervalos de tempo utilizados. Zaidan et al. concluíram que o sexo masculino teve um melhor desempenho quando comparado ao feminino.

Quanto aos efeitos do álcool, segundo Pearson, Dawe e Timney (1999), as investigações fisiológicas tem mostrado alterações significantes nas respostas neuronais auditivas. A amplitude dos potenciais neurais do córtex é diminuída pela ingestão de álcool, sugerindo uma redução da sensibilidade para a detecção de sinais auditivos.

No entanto, os achados a respeito do limiar auditivo, obtidos através de testes de detecção de sons, ainda apresentam-se de forma não conclusiva e contraditória. Alguns estudos concluem não existir algum efeito do álcool na detecção auditiva. Outros sugerem que os limiares auditivos são aumentados pelo seu consumo (Pearson, Dawe, & Timney, 1999).

No estudo de Jääskeläinen, Hirvonen, Saher, Pekkonen, Sillanaukee, Näätänen e Tiitinen (2000), realizado com 10 participantes, de 20 a 28 anos, o objetivo era detectar um som desviante de um tom padrão. Para isso, um padrão de 300 Hz e um tom desviante de 330 Hz foram apresentados à orelha esquerda dos indivíduos, e um padrão de 1000 Hz e um desviante de 1100 Hz para a orelha direita. Os resultados desse estudo apresentaram supressão auditiva transitória ocasionada pela ingestão de álcool à 0.05 % BAC, demonstrada em exames de eletroencefalografia.

As tarefas de discriminação de sons são mais suscetíveis aos efeitos do álcool (Pearson, 1997). Segundo estudo de Pearson, realizado com seis participantes (sendo três homens e três mulheres), no qual testava o limiar para a discriminação de frequências sonoras, a ingestão de álcool a 0.08 % BAC, alterou negativamente apenas a habilidade de discriminação para as frequências mais altas (acima de 1000 Hz).

Considerações finais

O presente estudo contribui para a área da neurociência auditiva da música no sentido em que rever uma série de pesquisas relacionadas ao estudo dos tons musicais, um tema tão pouco abordado, mas de grande impacto na compreensão dos fenômenos auditivos. Quaisquer discussões dirigidas aos aspectos sociais, clínicos e científicos podem se beneficiar de estudos que tratem do esclarecimento dos elementos neuropsicológicos da audição (McDermott & Oxenham, 2008; Omar et al., 2010).

O estudo da percepção de forma geral é importante na medida em que a interação dos indivíduos com seu meio se dá basicamente através das suas estruturas sensoriais e perceptivas. Além disso, entre todos os sistemas de percepção, o auditivo, em particular, é um dos mais utilizados para conectar-se a distância (de forma não direta) ao ambiente (Schiffman, 2005).

As pesquisas apresentadas nessa revisão mostram métodos de coleta e de avaliação dos dados muito difusos, bem como o uso de estímulos largamente diferentes e a exibição de resultados por vezes contraditórios. Além disso, ainda que utilizem diversificadas variáveis de estudo, uma ampla gama de outras possibilidades ainda precisam ser estimadas. Um grande grupo de processos encefálicos ou especificamente sensoriais e/ou perceptivos relacionados a audição, inclusive o estudo do processamento musical dos tons, pode ser melhor entendido a partir de pesquisas neste âmbito.

Nesse sentido, este trabalho se propôs a realizar uma revisão acerca do processamento neuropsicológico dos tons no âmbito da música ocidental na tentativa de servir como ponto de partida norteador acerca do presente tópico. Com isso pretende-se facilitar o incremento de estudos futuros na referida área.

Referências

- Andrade, P. E. (2004). Uma abordagem evolucionária e neurocientífica da música. *Neurociências*, 1 (1), 21-33.
- Antunes, D. C., & Gouveia Jr., A. (2009). Questões acerca da percepção sonora de harmônicos: A função

- das variáveis sexo e aprendizagem. *Estudos de Psicologia*, 26 (1), 57-64.
- Brancucci, A., Dipinto, R., Mosesso, I., & Tommasi, L. (2009). Vowel identity between note labels confuses pitch identification in non-absolute pitch possessors. *Plos one*, 4 (7), 6327-6333.
- Campos, D. C. (2006). *Música; neuropsicologia; transtorno do déficit de atenção/hiperatividade (TDAH): diálogo entre arte e saúde*. XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Música (ANPPOM), Brasília, pp. 608-612. Acessado em 09 de agosto, 2010, em http://www.anppom.com.br/anais/anaiscongresso_anppom_2006/CDROM/COM/05_Com_Musterap/sessao01/05COM_Musterap_0105-255.pdf
- Clynes, M. (1982). *Music, mind, and brain: The neuropsychology of music*. New York: Plenum Press.
- Deus, M. J., & Duarte, M. F. S. (1997). Níveis de pressão sonora em academias de ginástica e a percepção auditiva dos professores. *Revista Brasileira de Atividade Física e Saúde*, 2 (2), 5-16.
- Dourado, H. A. (2008). *Dicionário de termos e expressões da música* (2ª ed.). São Paulo: Editora 34.
- Elbert, T., Pantev, C., Wiendbruch, C., Rockstroh, B., & Taub, B. (1995). Increased cortical representation of the fingers of the left hand in string players. *Science*, 270 (5234): 305-307.
- Goldstein, E. B. (2007). *Sensation & Perception*. (7ª ed.). Belmont, CA: Wadsworth.
- Jääskeläinen, I. P., Hirvonen, J., Saher, M., Pekkonen, E., Sillanauke, P., Näätänen, R., & Tiitinen, H. (2000). Dose-dependent suppression by ethanol of transient auditory 40-Hz response. *Psychopharmacology*, 148, 132-135.
- Jesus, E. A., Uriarte, M. Z., & Raabe, A. L. (2007). Desenvolvendo a percepção musical em crianças através de um objeto de aprendizagem. *Renote*, 5 (1), 1-10.
- Kandel, E. R., Schwartz, J. H., & Jessell, T. M. (2003). *Princípios da neurociência* (4ª ed.). Barueri, SP: Manole.
- Levitin, D. J. (2010). *A música no seu cérebro: A ciência de uma obsessão humana*. Civilização Brasileira: Rio de Janeiro.
- Lima, K. (2008). *A origem das notas musicais: Você conhece?* Canto da Paz. Acessado em 22 de agosto, 2010, em <http://www.cantodapaz.com.br/blog/2008/07/13/origem-notas-musicais/>
- Machado, A. R., & Borloti, E. B. (2009). Formação de classes funcionais de estímulos musicais. *Paideia*, 19 (42), 47-58.
- Mattos, A. C. (2010). *As notas musicais*. Acessado em 22 de agosto, 2010, em http://www.amattos.eng.br/Public/INSTRUMENTOS_MUSICAIS/Textos/Div/notas.htm
- McDermott, J. H., & Oxenham, A. J. (2008). Music perception, pitch, and the auditory system. *Current Opinion in Neurobiology*, 18, 452-463.
- Moore, B. C. J., & Vinay, S. N. (2009). Enhanced discrimination of low-frequency sounds for subjects with high-frequency dead regions. *Brain*, 132, 524-536.
- Neto, W. C. B., & Matos, R. (2009). *Dinamizando o desenvolvimento da percepção musical: Um sistema de apoio à realização de exercícios*. Artigo apresentado no XXIX Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Bento Gonçalves, RS.
- Ogasawara, A. S. (2008). *Reconhecedor de notas musicais em sons polifônicos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Olson, H. F. (1967). *Music, physics and engineering*. New York: Dover Publications.
- Omar, R., Hailstone, J. C., Warren, J. E., Crutch, S. J., & Warren, J. D. (2010). The cognitive organization of music knowledge: A clinical analysis. *Brain*, 133, 1200-1213.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E., & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392, 811-813.
- Pearson, P. M. (1997). *The effects of ethyl alcohol on visual and auditory thresholds*. Tese de doutorado, University of Western Ontario, London.
- Pearson, P., Dawe, L. A., & Timney, B. (1999). Frequency selective effects of alcohol on auditory detection and frequency discrimination thresholds. *Alcohol & Alcoholism*, 34 (5), 741-749.
- Peretz, I. (2001). Brain specialization for music: New evidence from congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 153-165.

- Pfordresher, P. Q., & Brown, S. (2009). Enhanced production and perception of musical pitch in tone language speakers. *Attention, perception, & psychophysics*, 71 (6), 1385-1398.
- Pinker, S. (1999). *How the mind works*. New York: Norton.
- Plack, C. J., Oxenham, A. J., Fay, R. R., & Popper, A. N. (2005). *Pitch: neural coding and perception*. New York: Springer-Verlag.
- Rodrigues, A. C. O., Guerra, L. B., & Loureiro, M. A. (2006). *Música e cognição: A atenção visual é diferente em músicos e não-músicos?* XVI Congresso da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-graduação em Música (ANPPOM), Brasília, pp. 126-130. Acessado em 09 de agosto, 2010, em http://www.anppom.com.br/anais/anaiscongresso_anppom_2006/CDROM/COM_01_Com_EdMus/sessao06/01COM_EdMus_0603104.pdf
- Schiffman, H. R. (2005). *Sensação e Percepção* (5ª ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Schlaug, G. (2001). The brain of musicians: A model for functional and structural adaptations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930 (1), 281-299.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995a). In vivo evidence of structural brain asymmetry in musicians. *Science*, 267 (5198), 699-701.
- Schlaug, G., Jäncke, L., Huang, Y., & Steinmetz, H. (1995b). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33 (8), 1047-1055.
- Schmithorst, V. J., & Holland, S. K. (2003). The effect of musical training on music processing: A functional magnetic resonance imaging study in humans. *Neuroscience Letters*, 348 (2), 65-68.
- Sloan, A. M., Dodd, O. T., & Rennaker, R. L. (2009). Frequency discrimination in rats measured with tone-step stimuli and discrete pure tones. *Hearing Research*, 251, 60-69.
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage*, 17 (3), 1613-1622.
- Soncini, F., & Costa, M. J. (2006). Efeito da prática musical no reconhecimento da fala no silêncio e no ruído. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 18 (2), 161-170.
- Sousa, R. (2010). *A origem das notas musicais*. *Brasil Escola*. Acessado em 22 de agosto, 2010, em <http://www.brasilecola.com/curiosidades/a-origem-das-notas-musicais.htm>
- Trainor, L. J., Desjardins, R. N., & Rockel, C. (1999). A comparison of contour and interval processing in musicians and nonmusicians using event-related potentials. *Australian Journal of Psychology*, 51, 147-153.
- Trainor, L. J., McDonald, K. L., & Alain C. (2002). Automatic and controlled processing of melodic contour and interval information measured by electrical brain activity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 430-442.
- Tomedi, R. A. B. (2002). *Protótipo de um sistema para auxílio ao treinamento da percepção musical*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Regional de Blumenau, Blumenau.
- Ulloa, M. (2008). O que é isto, audição musical? *Repertório: Teatro e Dança*, 11 (11), 54-60.
- Viana, A. B. (1998). *Sistema inteligente para o ensino do dedilhado pianístico – SIEDP*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Viana, A. B., Cavalcanti, J. H. F., & Alsina, P. J. (1998). *Uma mão robótica para o ensino do dedilhado pianístico*. XIII Congresso Brasileiro de Automática. Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais. Acessado em 22 de agosto, 2010, em www.musica.ufbr.br/~viana/publications/CBA%20Versao%20Final.pdf
- Walker, K. M. M., Schnupp, J. W. H., Hart-Schnupp, S. M. B., King, A. J., & Bizley, J. K. (2009). Pitch discrimination by ferrets for simple and complex sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 126 (3), 1321-1335.
- Zaidan, E., Garcia, A. P., Tedesco, M. L. F., & Baran, J. A. (2008). Desempenho de adultos jovens normais em dois testes de resolução temporal. *Pró-Fono Revista de Atualização Científica*, 20 (1), 19-24.
- Zatorre, R. J. (2001). Neural specializations for tonal processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 193-210.

Fecha de recepción: 1º de agosto de 2012
Fecha de aceptación: 1º de octubre de 2012