



**Pontifícia Universidade Católica  
do Rio de Janeiro**

**Natali Fontes Cardoso Bazan**

**Habilidades Musicais e Linguísticas: Uma Investigação com  
Crianças com Diagnóstico de Transtorno do Desenvolvimento  
da Linguagem (TDL)**

**Dissertação de Mestrado**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Letras/Estudos da Linguagem pelo Programa de Pós-graduação em Estudos da Linguagem da PUC-Rio.

Orientadora: Letícia Maria Sicuro Corrêa

Rio de Janeiro  
Setembro 2025



**Pontifícia Universidade Católica  
do Rio de Janeiro**

**Habilidades Musicais e Linguísticas: Uma Investigação com  
Crianças com Diagnóstico de Transtorno do Desenvolvimento  
da Linguagem (TDL)**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-graduação em Estudos da Linguagem da PUC-Rio.

Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo:

**Letícia Maria Sicuro Corrêa**  
Orientadora  
Departamento de Letras – PUC-Rio

**Mercedes Marcilese**  
UFJF

**Michele Calil dos Santos Alves**  
UFRJ

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, da autora e do orientador

**Natali Fontes Cardoso Bazan**

Graduada em Artes Cênicas pela Pontifícia Universidade Católica em 2022, estagiou no programa de Iniciação Tecnológica do CNPq (PIBITI) no Laboratório de Psicolinguística e Aquisição da Linguagem (LAPAL) na Pontifícia Universidade Católica (2021-2022). Especializou-se em Piano Clássico e Piano Popular pela Escola de Música Villa-Lobos (2023).

**Ficha Catalográfica**

Bazan, Natali Fontes Cardoso

Habilidades musicais e linguísticas: uma investigação com crianças com diagnóstico de transtorno do desenvolvimento da linguagem (TDL) / Natali Fontes Cardoso Bazan; orientadora: Letícia Maria Sicuro Corrêa. – 2025.

158 f. ; il. color.; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Letras, 2025.

Inclui bibliografia

1. Letras – Teses. 2. Música e cognição. 3. Psicolinguística. 4. TDL. 5. Processamento rítmico. 6. Habilidades musicais. I. Corrêa, Letícia Maria Sicuro. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Letras. III. Título.

CDD: 400

*“Se pudermos explicar a música, poderemos encontrar a chave para todo o pensamento humano.”* – Gardner, 1983, p.123.

## AGRADECIMENTOS

Sou muito grata a todos que estiveram ao meu lado durante essa travessia, acreditando em mim e me ajudando/guiando para obter o título de mestrado.

Primeiramente, agradeço à minha querida orientadora Letícia Côrrea, que desde a época da Iniciação Tecnológica (PIBITI) esteve ao meu lado pacientemente ensinando e escutando minhas dúvidas. Letícia Côrrea me deu todo o suporte para estar aqui agora, acreditou nesta proposta de estudo (um tanto diferente e nova para nós duas) e embarcou junto nesta trajetória. Tive a oportunidade de não apenas ter uma orientadora, mas uma companheira que esteve ao meu lado desbravando essas águas desconhecidas de um tema pouco explorado.

Sou grata a minha família, meu pai Boris, mãe Deolinda e irmãos Pedro Leon e Boris Leon, que sempre me apoiaram e me ajudaram a lidar com as mais diversas situações da vida. Agradeço de coração por tudo.

Agradeço ao meu namorado, Carlos Henrique de Oliveira Maier, que nos momentos mais difíceis, me fez rir e sorrir, sempre falando “*Vai dar tudo certo*”.

Expresso minha gratidão a todos os participantes e seus responsáveis, por aceitarem participar deste estudo,

Agradeço imensamente a colaboração de Suzana Leite Rodrigues e Vanessa Vicente, que foram fundamentais para a organização dos grupos típicos e atípicos. Toda a dedicação, a disponibilidade e o cuidado que tiveram em cada etapa da aplicação foram significativos para a realização do estudo. O apoio que recebi de ambas fez toda a diferença e sou profundamente grata.

Agradeço à escola Aldeia Curumim, que disponibilizou a estrutura necessária para a aplicação das tarefas e ofereceu suporte à formação dos grupos de crianças controle para a realização do estudo desta dissertação. Agradeço também à Clínica Verbalize Fonoaudiologia, que esteve constantemente com as portas abertas para a realização da pesquisa, me auxiliando durante esse processo de aplicação.

Agradeço aos meus mentores da Escola de Música Villa-Lobos, Nely de Alencar e Edilson Leal, que foram fundamentais para o entendimento e inspiração da parte musical deste projeto.

Sou grata a Luci Caminha Aiello por todos os instantes em que esteve ao meu lado, ajudando a enxergar novas perspectivas, escutando minhas dificuldades e ajudando a seguir em frente nos momentos mais turbulentos.

Agradeço a todos meus amigos e colegas do PPGEL, que tornaram meus dias melhores, iluminando meus dias com conversas sinceras, cheias de ternura e carinho.

Sou grata à PUC-Rio e ao Programa de Pós-Graduação em Estudos da Linguagem (PPGEL) por todo o acolhimento, apoio e formação oferecidos ao longo do mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## RESUMO

Bazan, Natali. Corrêa, Letícia (orientadora). **Habilidades Musicais e Linguísticas: Uma Investigação com Crianças com Diagnóstico de Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL)**. Rio de Janeiro, 2025. 158p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Letras e Artes da Cena, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Este estudo explora possíveis relações entre habilidades musicais e linguísticas e a possibilidade de as primeiras proverem um sinal de alerta para o Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL). A música, assim como a linguagem, apresenta uma rica estrutura hierárquica, o que permite que seja questionada a visão de que esses sistemas cognitivos sejam totalmente independentes. Alternativamente à visão modular fodoriana, considera-se que linguagem e música podem compartilhar elementos neurais, sugerindo uma organização que assume algum tipo de modularidade, porém, mais integrada e flexível. A hipótese PRISM (*Processing Rhythm In Speech and Music*) sugere que o processamento rítmico na fala e na música compartilha três mecanismos fundamentais: (1) processamento auditivo preciso e de granulação fina; (2) sincronização e alinhamento de oscilações neurais com estímulos rítmicos externos; e (3) acoplamento sensório-motor. A literatura traz evidências de que crianças com TDL apresentam dificuldades no ritmo da fala e no ritmo musical, com desempenho comprometido em tarefas rítmicas. Este estudo investiga possíveis dificuldades rítmicas em crianças com TDL, examinando a hipótese do Risco de Ritmo Atípico (ARRH), segundo a qual o processamento rítmico atípico pode representar um fator de risco para distúrbios do desenvolvimento da fala e da linguagem. Participaram de dois experimentos dez crianças com TDL e dez crianças com desenvolvimento típico, previamente avaliadas por meio do módulo 1 do MABILIN (Módulos de Avaliação de Habilidades Linguísticas). O primeiro experimento, uma tarefa de discriminação rítmica, revelou que o grupo com TDL apresentou desempenho significativamente inferior ao do grupo controle. O segundo experimento, uma tarefa de sincronização rítmica, mostrou que o grupo com TDL teve dificuldade em manter uma sincronização regular, tendo um desempenho inferior ao do grupo controle nas categorias Batida Adicional e Omissões.

**PALAVRAS-CHAVE:** Música e Cognição; Psicolinguística; TDL; Processamento Rítmico; Habilidades Musicais; Habilidades Linguísticas; Compartilhamento Neural

## ABSTRACT

Bazan, Natali. Corrêa, Letícia (advisor). *Musical and Linguistic Abilities: An Investigation with Children Diagnosed with Developmental Language Disorder (DLD)*. Rio de Janeiro, 2025. 158 p. Master's Thesis – Department of Letters and Performing Arts, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro.

This study explores potential relationships between musical and linguistic abilities, as well as the possibility that the former may serve as an early indicator for Developmental Language Disorder (DLD). Like language, music exhibits a rich hierarchical structure, which challenges the view that these cognitive systems are entirely independent. As an alternative to a strictly modular perspective, it is proposed that language and music may share neural components, suggesting a form of modularity that is more integrated and flexible. The PRISM hypothesis (Processing Rhythm in Speech and Music; Fiveash et al., 2021) posits that rhythmic processing in speech and music involves three core shared mechanisms: (1) fine-grained and precise auditory processing; (2) synchronization and entrainment of neural oscillations to external rhythmic stimuli; and (3) sensorimotor coupling. The literature provides evidence that children with DLD exhibit difficulties with both speech rhythm and musical rhythm, showing impaired performance in rhythmic tasks. This study investigates potential rhythmic impairments in children with DLD by examining the Atypical Rhythm Risk Hypothesis (ARRH), which proposes that atypical rhythmic processing may constitute a risk factor for speech and language developmental disorders. Two experiments were conducted with ten children diagnosed with DLD and ten typically developing children, all previously assessed using module 1 of MABILIN (Assessment Modules of Linguistic Abilities). The first experiment, a rhythmic discrimination task, revealed that the DLD group performed significantly worse than the control group. The second experiment, a rhythmic synchronization task, showed that the DLD group had difficulty maintaining regular synchronization, performing worse than the control group in the Additional Beat and Omissions categories.

**KEYWORDS:** Music and Cognition; Psycholinguistics; DLD; Rhythmic Processing; Musical Abilities; Linguistic Abilities; Neural Overlap

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> - Ilustração da Estrutura Sintática do Círculo de Quinta.....	15
<b>Figura 2</b> - Modelo Hierárquico das Unidades Prosódicas da Fala.....	21
<b>Figura 3</b> - Partitura do Experimento de Kunert <i>et al.</i> (2015).....	29
<b>Figura 4</b> - Ilustração Educativa da Anatomia Cerebral.....	30
<b>Figura 5</b> - Modelo de Modularidade Musical.....	33
<b>Figura 6</b> - Estatísticas Paramétricas de Schlaug <i>et al.</i> (2005) .....	48
<b>Figura 7</b> - Relação entre Sintaxe e Estrutura Prolongacional na Música.....	64
<b>Figura 8</b> - Relação Funcional entre Linguagem e Música Segundo a Hipótese SSIRH..	67
<b>Figura 9</b> - Tarefa do Estudo de Slevc <i>et al.</i> (2008).....	68
<b>Figura 10</b> - Representação do Estímulo de Tonalidade Ambígua.....	70
<b>Figura 11</b> - Representação Ilustrativa do PRISM.....	78
<b>Figura 12</b> - Sobreposição Neural entre Análise de Sintaxe e Ritmo.....	87
<b>Figura 13</b> - Inter-relações entre Música e Linguagem.....	98
<b>Figura 14</b> - Adaptação do Modelo Modular para o Processamento Musical Proposto por Peretz e Coltheart (2003).....	101
<b>Figura 15</b> - Partitura do Áudio Base 1.....	105
<b>Figura 16</b> - Partitura com as Três Condições, Sequência rítmica 4.....	107

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Estatística Descritiva: Acertos em Função de Grupo e Tipo de Sequência (máx. escore = 60; N= 10).....	108
<b>Tabela 2</b> - Valores do teste U de Mann-Whitney para Comparação entre Grupos.....	109
<b>Tabela 3</b> - Comparação entre Grupos em Função do Tipo de Sequência Rítmica.....	110
<b>Tabela 4</b> - Tabela da Média do Número de Batidas em cada Categoria.....	115
<b>Tabela 5</b> - Tabela da Média do Número de Batidas em cada Categoria.....	115
<b>Tabela 6</b> - Tabela de Estatísticas Descritivas dos dados dentro da Tolerância.....	116
<b>Tabela 7</b> - Resultados do Modelo Linear Misto para os Efeitos de Grupo, Audibilidade da Batida e Velocidade.....	116
<b>Tabela 8</b> - Resultados do Teste Mann-Whitney U: Dentro da Tolerância.....	117
<b>Tabela 9</b> - Resultados Wilcoxon Pareado com Correção de Bonferroni.....	118
<b>Tabela 10</b> - Resultados do Modelo Linear Misto para o efeito de Grupo, Velocidade, Audibilidade, na Categoria Antecipado.....	119
<b>Tabela 11</b> - Resultados do Modelo Linear Misto para o Efeito de Grupo, Velocidade e Audibilidade na Categoria Atrasado.....	120
<b>Tabela 12</b> - Modelo Linear Misto: Batida Adicionada.....	120
<b>Tabela 13</b> - Médias Marginais Estimadas (com erros padrão e IC 95%): Batida Adicionada.....	120
<b>Tabela 14</b> - Resultados do Modelo Linear Misto na Categoria Omissão.....	121

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Distribuição de Acertos por Participantes no Grupo Controle.....	109
<b>Gráfico 2</b> - Distribuição de Acertos por Participantes no Grupo TDL.....	109
<b>Gráfico 3</b> - Resultado do participante AF, Grupo Atípico, Respectivo à Audibilidade com Batida, Velocidade 2,5 Hz.....	123
<b>Gráfico 4</b> - Resultado do Participante D, Grupo Atípico, em Ambas as Condições (Vel. 2,5 Hz).....	124
<b>Gráfico 5</b> - Resultado do Participante B, Grupo Atípico, em Ambas as Condições (Vel. 1,5 Hz).....	125
<b>Gráfico 6</b> - Resultado do Participante B, Grupo Típico, Audibilidade sem Batida (Vel. 2,5 Hz).....	125
<b>Gráfico 7</b> - Resultado do Participante H, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 1,5 Hz.....	126
<b>Gráfico 8</b> - Resultado do Participante M, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 2 Hz.....	126
<b>Gráfico 9</b> - Resultado do Participante ML, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 2,5 Hz.....	127
<b>Gráfico 10</b> - Resultados do participante A, Grupo TDL, Vel. 2 Hz.....	128
<b>Gráfico 11</b> - Resultado do Participante PF, Grupo TDL, Vel. 2,5 Hz.....	128
<b>Gráfico 12</b> - Resultado da Participante Extra. Vel. 1,5 Hz.....	130
<b>Gráfico 13</b> - Resultado da Participante Extra. Vel. 2 Hz.....	130

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	13
<b>2. Modularidade da Mente – Fodor e outros Desdobramentos .....</b>	18
<b>2.1 Questão para a Modularidade .....</b>	22
<b>2.2 Evidências Neurofisiológicas .....</b>	26
<b>3. Dissociações.....</b>	31
<b>3.1 Modularidade Musical .....</b>	31
<b>3.2 Amusia e Afasia.....</b>	34
<b>4. Possíveis Associações – Hipóteses e Evidências .....</b>	38
<b>4.1 Similaridades na Percepção Auditiva.....</b>	39
<b>4.2 Efeito de Transferência.....</b>	40
<b>5. Habilidades Musicais e Habilidades Linguísticas .....</b>	45
<b>5.1 Discussões sobre o treinamento musical.....</b>	55
<b>5.2 Processamento da Linguagem Verbal e Musical .....</b>	61
<b>6. Processamento Sintático: <i>Garden Path</i> Linguístico e Musical.....</b>	66
<b>6.1 O Curioso Caso de Ravel .....</b>	71
<b>7. As Hipóteses que Orientam o Estudo Experimental .....</b>	76
<b>7.1 PRISM.....</b>	77
<b>7.2 ARRH .....</b>	85
<b>8. Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL).....</b>	88
<b>8.1 TDL e Música.....</b>	91
<b>9. As Habilidades Rítmicas: Estudo Experimental.....</b>	103
<b>9.1 Tarefa de Discriminação Rítmica.....</b>	104
<b>9.1.1 Método.....</b>	105
<b>9.1.2 Resultados .....</b>	108
<b>9.1.3 Discussão.....</b>	111
<b>9.2 <i>Tapping Task</i>.....</b>	112
<b>9.2.1 Método.....</b>	113
<b>9.2.2 Resultados .....</b>	115
<b>9.2.3 Discussão.....</b>	122
<b>9.3 A “Participante” Extra.....</b>	129
<b>10. Considerações Finais .....</b>	132
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	134
<b>Glossário – Conceitos Musicais e Fonéticos Acústicos .....</b>	151
<b>ANEXOS .....</b>	154

## 1. INTRODUÇÃO

Uma das perguntas fundamentais presentes nos debates acerca do papel da música na cognição é sobre o que poderia ser compartilhado (ou não) entre o processamento da música e da linguagem: o que ambas têm em comum ou incomum na atividade cognitiva?

Alguns autores defendem que certas áreas do cérebro exercem funções comuns tanto no processamento linguístico quanto no musical (Fiveash *et al.* 2021; Cecchetti, Herff, Rohrmeier, 2022; Li *et al.* 2023; Slevc *et al.*, 2008; Corriveau e Goswami, 2009; Patel, 2003). No entanto, há outros autores que propõem existirem divergências quanto à especificidade das funções e dos domínios entre a música e a linguagem (Sihvonen *et al.* 2024; Rawbone, 2021; Fodor, 1983; Jackendoff, 1987).

Entende-se, por meio da perspectiva chomskyana, que a linguagem é instanciada nas mentes dos falantes, de modo que eles possam produzir e compreender enunciados em profusão ilimitada. Esse questionamento que busca relacionar a linguagem com a música está relacionado à perspectiva chomskyana, segundo a qual a linguagem é uma capacidade mental inata, de modo que eles possam produzir e compreender enunciados em profusão ilimitada.

Fodor (1983) propôs a hipótese da Modularidade da Mente (*Modularity of Mind*), a qual se baseia na concepção de que os sistemas de “*input*” são modulares, ou seja, entende-se que o mecanismo computacional que capta informações do ambiente para processamento mental é operado por módulos encapsulados informacionalmente independentes uns dos outros, processando apenas uma informação específica de modo especializado (Robbins, 2017). Fodor (1983), Gardner (1983) e Jackendoff (1987) propuseram a existência de sistemas modulares para a percepção musical, indo ao encontro da hipótese da modularidade de Fodor.

Jackendoff (1987) reconhece diversas semelhanças presentes na música e na linguagem verbal, contudo, aborda diversas outras dissociações importantes: a) Quanto ao processamento neural (visto que diferentes áreas do cérebro são ativadas durante o processamento da linguagem e da música, assim como é distinta a relação entre os hemisférios e cada um desses domínios – predominantemente o hemisfério esquerdo na linguagem, e predominantemente o hemisfério direito para a música); b) A natureza da informação, que é diferente para a música e para a linguagem. Uma é relacionada à transmissão de informação, a outra é mais associada à transmissão de uma resposta emocional no ouvinte; c) Casos de lesões cerebrais, os quais mostraram que indivíduos

com amusia<sup>1</sup> podiam manter as habilidades linguísticas intactas, enquanto aqueles com afasia<sup>2</sup> ainda podiam ser capazes de processar música; d) O tempo de processamento diferente. Jackendoff (1987) aborda que a linguagem tem um processamento muito mais rápido dos fonemas e palavras, em relação à música, durante o processamento de ritmos e melodias, tendo períodos mais longos.

Diversas propostas têm sido defendidas quanto à natureza do processamento sintático linguístico. Fodor (1983) e Caplan e Waters (1999), entre outros, sustentam que esse processamento depende de mecanismos específicos de domínio. Por outro lado, Elman *et al.* (1996) argumentam que o processamento sintático não é exclusivo da linguagem, utilizando, portanto, mecanismos cognitivos gerais. Tal debate sobre a natureza do processamento linguístico também pode e deve ser considerado na investigação do processamento musical (Peretz e Morais, 1989), uma vez que a música, assim como a linguagem verbal, possui uma rica estrutura sintática complexa<sup>3</sup>, por meio da qual os elementos se organizam hierarquicamente em sequências mediadas por regras (Slevc *et al.*, 2008).

A hierarquia sintática na música tonal, mediada por regras, é exemplificada pelo Círculo de Quintas<sup>4</sup>. Nessa estrutura, a tônica\* (o grau\* I de VII, que funciona como centro gravitacional do sistema) constitui o núcleo e as demais funções harmônicas\* se organizam em relação ao núcleo. No Círculo, um movimento no sentido horário (progressão por quintas ascendentes, como Dó\* – Sol\*) estabelece um aumento na tensão. O sentido anti-horário (progressão por quartas ascendentes, como Dó – Fá\*) produz um efeito de preparação ou relaxamento. Dessa forma, assim como a sintaxe linguística, que combina elementos para formar frases coerentes, o Círculo de Quintas orienta as relações entre tonalidades\*, definindo a lógica de tensão e repouso que estrutura o discurso musical.

---

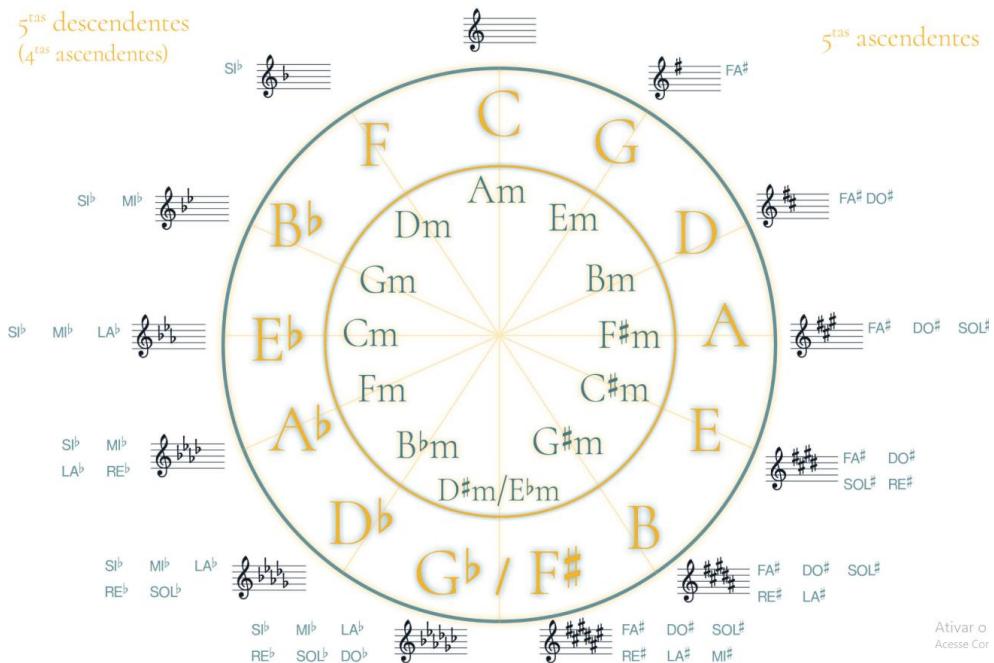
<sup>1</sup> Amusia refere-se a um distúrbio neurológico que compromete a percepção e/ou produção musical, sem implicar déficits intelectuais ou sensoriais gerais.

<sup>2</sup> A afasia é uma disfunção que afeta a capacidade de comunicação, prejudicando a fala, a escrita e a compreensão da linguagem.

<sup>3</sup> Destaca-se que a música possui uma sintaxe rica, mas não é tão complexa quanto a sintaxe da linguagem.

<sup>4</sup> As palavras acompanhadas de asterisco (\*) estão definidas no Glossário.

**FIGURA 1** – Ilustração da Estrutura Sintática do Círculo de Quinta



**Fonte:** Cresciente.net (s.d.)

Destaca-se que a literatura sobre o assunto é dicotômica, conflituante e controversa; a relação entre linguagem e música é incerta. Esta dissertação aborda três perspectivas sobre essa relação: o viés da modularidade, o viés de um compartilhamento neural e o viés de uma modularidade mais flexível. Consideram-se, particularmente, três principais hipóteses que evidenciam o compartilhamento de funções entre Linguagem e Música: a hipótese *Processing Rhythm In Speech and Music* (PRISM; Fiveash *et al.*, 2021), a hipótese do Risco de Ritmo Atípico (ARRH; Ladányi *et al.*, 2020) e a *Shared Syntactic Integration Resource Hypothesis* (SSIRH), de Patel (2003).

O estudo exploratório aqui apresentado é conduzido com crianças falantes de português brasileiro com diagnóstico de Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL). O TDL é um transtorno do neurodesenvolvimento que se caracteriza por dificuldades na aquisição e no processamento da linguagem na ausência de possíveis fatores externos que possam explicá-las. Existem fatores genéticos associados ao TDL (Mountford; Braden; Newbury; Morgan, 2022). Grande parte do interesse da pesquisa linguística no tema advém da possibilidade de ser esta uma manifestação compatível com a ideia da linguagem como um “órgão mental”, de natureza biológica, específico da mente humana, cujo desenvolvimento segue, em grande medida, um cronograma maturacional (Chomsky, 1965; Lenneberg, 1967). Suas manifestações são heterogêneas e o diagnóstico é predominantemente de exclusão (Leonard, 2014).

Crianças com TDL diferem muito entre si; algumas apresentam dificuldade predominantemente na produção, outras predominantemente na compreensão e outras em ambas. A característica mais marcante do TDL parece ser a presença de problemas na produção/compreensão da morfossintaxe; contudo, as dificuldades do TDL não se restringem apenas a este domínio, visto que algumas crianças com este transtorno apresentam dificuldades fonológicas, problemas de aquisição de vocabulário e déficits na interface sintaxe-semântica/pragmática (Marinis, 2011).

Ainda que existam manifestações do TDL compartilhadas entre línguas (porém não exclusivas desse transtorno), como o processamento de sentenças de alto custo (passivas reversíveis, relativas de objeto, movimento QU), há manifestações que diferem em função da morfologia/morfossintaxe das línguas em questão (Silveira, 2002; Corrêa, 2012). Atenta-se ao fato de que, em certas línguas, há marcadores gramaticais que sinalizam um possível transtorno de linguagem. Por exemplo, na língua italiana, francesa ou no português europeu, as crianças não têm muitos problemas na colocação dos pronomes clíticos<sup>5</sup>. Caso uma criança portuguesa apresente algum problema com o uso sintático desses pronomes, este já é um indicativo de que sua aquisição da linguagem pode ser atípica (Costa e Grolla, 2017). No entanto, no PB (português brasileiro), em que predominam os pronomes fortes (tônicos, no caso acusativo – i.e. com acento próprio e usados de forma independente), a aquisição de pronomes como instrumento para avaliação clínica em crianças é inconsistente, o que dificulta o diagnóstico do TDL.

O diagnóstico precoce do TDL, no entanto, pode contribuir para que a criança venha a superar dificuldades no processamento linguístico ou contorná-las, via estratégias cognitivas. Diante disso, a possibilidade de identificação de um ritmo atípico em crianças com TDL pode atuar como um possível indicador de alerta para esse diagnóstico. A dissertação foi desenvolvida diante de dois principais objetivos: (i) apresentar um panorama da literatura acerca de música e linguagem; (ii) avaliar as habilidades rítmicas de crianças falantes de português brasileiro, com diagnóstico de TDL.

Dois experimentos são reportados. Os experimentos contaram com a participação de 20 crianças (7 a 10 anos de idade) e tiveram como objetivo geral verificar em que medida crianças com TDL manifestam padrões rítmicos atípicos em contraste com crianças com desenvolvimento linguístico típico. A hipótese central é que crianças com TDL têm déficit nas habilidades rítmicas musicais. No primeiro experimento, de Discriminação Rítmica, uma tarefa *offline*, os participantes escutaram pares de sequências

---

<sup>5</sup> São pronomes átonos, sem acento tônico próprio, que dependem de um verbo ou outra palavra para sua pronúncia. Por exemplo, “A Ana viu-o”.

rítmicas, precisando julgar se eram iguais ou diferentes. O segundo experimento foi de Sincronização Rítmica (*Tapping Task*), tarefa *online*. Nessa tarefa, as crianças deveriam pressionar a barra de espaço do teclado de um computador em sincronia com batidas apresentadas por um *software*.

A dissertação se organiza da seguinte forma: no Capítulo 2, a hipótese da modularidade da mente é apresentada e são trazidas algumas implicações para a relação entre habilidades linguísticas e musicais. Os Capítulos 3 e 4 trazem uma ampla revisão da literatura, focalizando as principais dissociações entre o processamento musical e o processamento linguístico e as possíveis associações, recentemente levantadas. No Capítulo 5, são discutidos possíveis efeitos de transferência entre os domínios linguístico e musical. No Capítulo 6, a possibilidade do partilhamento neural é considerada, com as possíveis implicações para o TDL. O Capítulo 7 apresenta as hipóteses que orientam a investigação experimental conduzida. No Capítulo 8, a possível conexão entre TDL e habilidades musicais é considerada. No Capítulo 9, a pesquisa experimental de natureza exploratória é relatada. No Capítulo 10, apresentam-se as considerações finais.

## 2. Modularidade da Mente – Fodor e outros Desdobramentos

Fodor (1983), ao propor a teoria da modularidade da mente, transformou significativamente o panorama conceitual e teórico dos estudos cognitivos, introduzindo a hipótese de que determinados módulos dispõem de recursos especializados e dedicados a determinados tipos de processamento (Peretz e Morais, 1989).

Fodor (1983) afirma que os sistemas modulares possuem tanto uma funcionalidade específica quanto uma implementação física definida em sua estrutura neural, dando ênfase a evidências neuropsicológicas. Outra característica fundamental dos sistemas modulares é o fator “inato”. Os sistemas modulares entram em operação principalmente como resultado de um processo causal bruto, como um gatilho, e não como um processo causal intencional, tal como a aprendizagem (Robbins, 2017).

Diante disso, a aquisição da linguagem ocorre em todos os indivíduos típicos (sem aparente dificuldade ou problemas de aquisição) em um mesmo padrão, independentemente das culturas ou crenças. Primeiro, aos 12 meses surgem palavras isoladas, aos 18 meses a fala telegráfica, aos 24 meses a gramática complexa (Robbins, 2017).

A hipótese da Modularidade de Fodor (1983) é composta por dois aspectos fundamentais. O primeiro diz respeito a sistemas de entrada envolvidos na percepção e na linguagem, que são modulares (modularidade de baixo nível). Sistemas de entrada, segundo o autor, significam um mecanismo computacional responsável por “apresentar o mundo para o pensamento” (Fodor, 1983, p. 40). O segundo aspecto são os sistemas centrais responsáveis pelo raciocínio e outras funções cognitivas superiores, os quais não são modulares (negam a modularidade de alto nível). Os módulos funcionam como mecanismos especializados que recebem dados sensoriais brutos, processando-os rapidamente e apresentando o mundo para os processos de pensamento mais elaborados. Após os dados brutos serem recebidos pelos módulos especializados, essas informações são passadas para os sistemas centrais, que são flexíveis, amplamente integrados e acessíveis a múltiplas fontes de informação e crenças, em seguida, passam pelo processo de *output* para sistemas de produção de comportamento (Robbins, 2017).

Fodor (1983) sustenta que a modularidade se apresenta nos sistemas de baixo nível, como percepção, mas alguns teóricos posteriormente trouxeram críticas, afirmando que os sistemas perceptivos e linguísticos raramente exibem as características da modularidade (Prinz, 2006; Mcauley e Henrich, 2006; Churchland, 1988). Prinz (2006) argumenta que os sistemas perceptivos e linguísticos não são informacionalmente

encapsulados, indo contra Fodor (1983), principalmente devido a evidências como o efeito McGurk (McGurk e Macdonald, 1976) e o fenômeno da restauração fonológica (Warren, 1970). Os efeitos intermodais, a combinação de estímulos visuais e auditivos alteram a percepção do fonema ouvido (como efeito McGurk) e a restauração fonológica, em que os ouvintes costumam “preencher” um fonema ausente na percepção da fala (Robbins, 2017).

Em comentário às evidências, o efeito McGurk (McGurk e Macdonald, 1976) é um fenômeno perceptivo que mostra como a visão pode influenciar a audição durante a percepção da fala, sendo uma das principais evidências de a percepção da fala ser multimodal. Neste estudo de McGurk e MacDonald (1976), os participantes precisaram ouvir um vídeo de uma pessoa falando, por exemplo, o fonema /ga/, porém, o som que estava sendo reproduzido era /ba/. O que os participantes percebem é um terceiro som /da/, sendo um som que não corresponde nem ao que viram ou ouviram. Esses resultados apontaram que ocorre uma integração da informação visual (movimento dos lábios) com a informação auditiva ouvida, gerando uma percepção intermediária. Assim, os sentidos não funcionariam totalmente isolados e, portanto, não poderiam ser encapsulados. No entanto, Robbins (2017) argumenta<sup>6</sup>:

*“Se a percepção da fala é um sistema multimodal, o fato de que suas operações se baseiem tanto em informações auditivas quanto visuais não precisa invalidar a alegação de que a percepção da fala é encapsulada.”*

Prinz (2006) usa os efeitos *top-down* (Warren, 1970) como argumento de que o efeito de restauração fonológica demonstra que a percepção da fala não pode ser encapsulada informacionalmente. Esse efeito ocorre quando, ao escutar um fonema que foi substituído por um ruído, os ouvintes automaticamente conseguem “preencher” o som ausente. Prinz (2006) argumenta que se a percepção da fala fosse realmente encapsulada, como defendido por Fodor (1983), o sistema auditivo só poderia processar aquilo que está disponível nos sentidos e não teria acesso ao contexto ou às inferências cognitivas. No entanto, outra forma de interpretar esse efeito é considerar que a percepção da fala se faz por meio de *análise pela síntese*, ou seja, diante de uma percepção acústica subsespecífica, o ouvinte atua como falante planejando a articulação – o que leva ao reconhecimento/à percepção do fonema em questão. O resultado desse planejamento é

---

<sup>6</sup> “*If speech perception is a multi-modal system, the fact that its operations draw on both auditory and visual information need not undermine the claim that speech perception is encapsulated.*”

mapeado com a representação subespecificada do som – o que não negaria a modularidade (Halle e Stevens, 1962; Bever e Poeppel, 2010).

Outros estudiosos que discutiram a arquitetura cerebral, especialmente, foram cientistas da psicologia evolucionista, que adotaram uma concepção de modularidade diferente da proposta por Fodor. Esses estudiosos pós-fodorianos, como Carruthers (2006), argumentaram que toda a mente é composta por módulos, incluindo sistemas de alto nível (Robbins, 2017). A tese da Modularidade Massiva (Carruthers, 2006) aborda uma arquitetura cognitiva modular que não necessariamente precisa ser encapsulada, aceitando que esses módulos podem interagir entre si e acessar múltiplas fontes de informação, diferentemente de Fodor, que defendia módulos fechados e restritos (Downes, 2024).

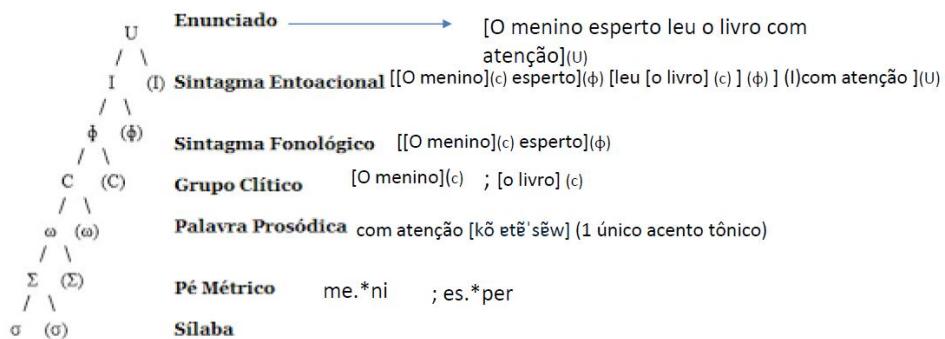
Muitos autores argumentam contra a proposta de que os processos centrais funcionam de forma modular no mesmo sentido que os perceptivos ou linguísticos (Woodward e Cowie, 2004; Fodor, 2000; Samuels, 2000; Wilson, 2008). Alguns dos principais argumentos contra a hipótese da modularidade massiva incluem: a dificuldade do modelo em explicar a integração cognitiva; a crítica de que Carruthers confunde a plausibilidade evolutiva da modularidade com a necessidade de que a mente funcione de modo estritamente modular; e, por fim, a questão de sua limitada falseabilidade em termos experimentais (Robbins, 2017).

Enfim, para além dessas perspectivas clássicas sobre a arquitetura da mente/cérebro, esta dissertação adota uma perspectiva atual, que concebe a ideia de uma modularidade mais flexível, em uma arquitetura interconectada na qual os módulos podem trocar informações em certos níveis. Um exemplo quanto a esse compartilhamento poderia ser observado entre a música e a linguagem, apesar de serem distintas em muitos aspectos, possuem semelhanças compartilhadas em nível acústico (como tom, tempo, timbre) e em nível cognitivo (memória, atenção, integração de eventos acústicos discretos em um fluxo perceptual coerente a um conjunto de regras específicas; Slevc *et al.*, 2008).

Cabe ressaltar que a literatura em que se discute a relação entre os domínios da música e da linguagem, muitas vezes, refere-se à fala. Por mais que uma esteja relacionada à outra, ambos os conceitos não são tratados de forma equivalente. A linguagem, fruto de uma faculdade mental inata, possibilita gerar e compreender um número infinito de sentenças a partir de um conjunto finito de regras/operações, enquanto a fala é uma forma de desempenho linguístico, em situações e contextos específicos (Chomsky, 1965).

Linguagem, língua e fala se relacionam, sobretudo na interface entre a língua (interna) e o sistema sensório-motor, bem como no âmbito da sintaxe-prosódia da língua. Nespor e Vogel (1986) argumentam que a noção de hierarquia não está presente apenas na sintaxe, mas também na prosódia. A hierarquia prosódica estabelece uma interface com a sintaxe. Na prosódia, os sons se estruturam em unidades hierárquicas, tal como na sintaxe, as palavras se organizam em sintagmas e orações. Por mais que unidades sintáticas e prosódicas não sejam idênticas, se relacionam de forma estreita.

**FIGURA 2** – Modelo Hierárquico das Unidades Prosódicas da Fala



**Fonte:** Nespor e Vogel (1986).

A imagem representa a hierarquia prosódica de Nespor e Vogel (1986). Essa hierarquia mostra como a fala é organizada em diferentes níveis: do enunciado ao sintagma entonacional, que se divide em sintagmas fonológicos, formados por grupos clíticos e palavras prosódicas. As palavras prosódicas se estruturam em pés métricos e, em seguida, em sílabas. A representação evidencia que a organização da fala obedece a princípios prosódicos específicos, distintos da sintaxe e do léxico.

No que concerne à aquisição da linguagem, a hierarquia prosódica de Nespor e Vogel (1986) fundamenta a hipótese do *Bootstrapping* (desencadeamento ou inicialização do processo de aquisição de uma língua) fonológico, segundo a qual marcações prosódicas como pausas\*, contornos de alturas\* e alongamento vocálico\*, fornecem aos bebês indícios estruturais que facilitam a segmentação do sinal acústico da fala e a identificação de padrões correspondentes a informação de natureza morfofonológica e sintática (Fernald e McRoberts, 1996).

De forma análoga, Palmer e Hutchins (2006) propõem um interessante conceito chamado “prosódia musical”, referente à expressão musical, uma vez que, tal como a fala, as propriedades acústicas da música podem ser manipuladas até certo ponto sem

alterar as informações categóricas. Em outras palavras, para além das notas\* e durações\* de tempo, os autores argumentam que frequência\*, intensidade\*, timbre\* e ritmo\* podem marcar fronteiras de frases, agrupamentos e hierarquias estruturais na música. Portanto, podem ser comparados com a prosódia da fala, que também envolve alterações sistemáticas para funções expressivas e estruturais.

Quanto ao desencadeamento, a prosódia musical forneceria informações para novatos (como bebês e estudantes de música) analisarem um fluxo acústico contínuo em unidades significativas, inicializando o aprendizado de relações hierárquicas complexas entre essas unidades (Palmer e Hutchins, 2006).

Em suma, a teoria da modularidade da mente de Fodor (1983) propõe que existem módulos especializados de natureza inata para determinadas funções cognitivas. Apesar das críticas, a teoria da modularidade apresenta robustez conceitual e relevância teórica para o campo dos estudos cognitivos. A hipótese de compartilhamento neural não necessariamente nega a ideia de uma modularidade, contudo, reflete a possibilidade de uma maior flexibilidade, na qual certos módulos permanecem especializados, enquanto outros processamentos podem ser parcialmente interconectados. Nas próximas subdivisões do capítulo 2, será abordada a questão de um partilhamento neural entre música e linguagem.

## 2.1 Questão para a Modularidade

A hipótese da modularidade de Fodor trouxe muitas críticas por parte de autores favoráveis a uma modularidade mais flexível, que possibilitasse uma base neural comum para mais de uma função. Patel e colaboradores (1998) usaram eventos de ERPs (*Event-Related Potentials*) para identificar correlatos neurais de operações cognitivas no processamento sintático da linguagem e da música. Os participantes ouviram frases que induzem a um efeito *Garden-Path*<sup>7</sup> e sequências musicais (Acordes Harmonicamente Inesperados) que tinham possibilidades combinatórias não imediatamente previsíveis, sendo a resposta neural também registrada por meio dos ERPs. Os autores observaram que as imprevisibilidades sintáticas (linguísticas e musicais) provocaram respostas

---

<sup>7</sup> *Garden Path* refere-se a construções linguísticas que apresentam ambiguidade estrutural temporária e a interpretação mais imediata não corresponde à pretendida, o que impede a conclusão do processamento, exigindo posterior reanálise sintática para que o enunciado seja compreendido corretamente. Ex.: Maria contou à amiga que foi comprar um carro o caso de um falso revendedor. Diante da ambiguidade temporária em “que foi comprar um carro”, o *parser* inicialmente analisa esta oração como completiva (complemento de “contou”). No entanto, esta análise não se sustenta diante de “o caso de um falso revendedor”, o que requer analisar o segmento ambíguo como uma oração relativa.

neurais distintas, ocorrendo, no entanto, uma sobreposição significativa em alguns locais cerebrais ativados por essas imprevisibilidades (regiões frontais e temporais). Resultados esses semelhantes ao estudo de Maess *et al.* (2001), como reportado por Patel *et al.* (1998). Esses dados sugerem que, embora existam diferenças nas especificidades do processamento sintático linguístico e musical, existe uma base neural compartilhada que parece sustentar a integração<sup>8</sup> de elementos sintáticos de ambas. Outra pesquisa apontou que as notas ou acordes formados são mais difíceis de processar quando são estruturalmente (sintaticamente) inesperados, em outras palavras, compostos por uma tonalidade harmonicamente distante das notas ou acordes anteriores (Loui e Wessel, 2007).

Valenzuela e Hlferty (2009) revisaram a literatura em busca de possíveis interações entre a música e a linguagem. Eles investigaram as possíveis conexões entre ambas as habilidades, focando em como essas duas áreas compartilham características estruturais e processuais, uma vez que, por mais que a música e a linguagem possam ser processadas por módulos específicos, elas poderiam compartilhar certas características e processos.

Evidências de um possível compartilhamento de redes neurais permitem que se questione a modularidade da mente, tal como caracterizada por Fodor (1983). Contudo, as evidências a favor de módulos específicos para a linguagem e a música são muito presentes também na literatura, formando uma polaridade quanto a essa relação entre música e linguagem.

Na pesquisa seminal de Bever e Chiarello (1974), evidências clínicas e experimentais sugeriram que o hemisfério esquerdo do cérebro é especializado na atividade da fala e o hemisfério direito é especializado em muitas funções não linguísticas. Então o esquerdo seria especializado no processamento proposicional, analítico e serial das informações recebidas, enquanto o hemisfério direito estaria mais adaptado para a percepção de relações aposicionais, holísticas e sintéticas.

No estudo de Bever e Chiarello (1974), foram recrutados dois grupos de indivíduos destros entre 15 e 30 anos de idade, norte-americanos, 14 eram ouvintes musicalmente inexperientes (menos de 3 anos de aula de música) e 22 eram ouvintes musicalmente experientes (não profissionais). A tarefa de reconhecimento de trechos de duas notas serviu como medida para saber se o ouvinte podia analisar a estrutura interna de uma melodia e a capacidade do ouvinte de discriminar as sequências de tons. Na

---

<sup>8</sup> O termo “integração” neste estudo é usado no sentido de estabelecimento de relações sintáticas pelo *parser*.

pesquisa, foi usada a escala\* bem temperada<sup>9</sup> 1½ oitavas e cada ouvinte respondeu a um conjunto de 36 melodias, além de um conjunto paralelo sonoro em que as sequências de tons eram um rearranjo das notas em cada melodia\* de modo que a linha melódica fosse um pouco interrompida. Assim, cada ouvinte teve que ouvir cada sequência desses estímulos e anotar se o seguinte trecho de duas notas estava na sequência de estímulo e dizer se já tinha ouvido em algum momento a sequência antes do experimento. Metade dos sujeitos de cada grupo ouviu primeiro as 36 sequências melódicas e depois as 36 sequências reorganizadas; a outra metade, o reverso.

As conclusões dessa pesquisa forneceram evidências de que os ouvintes musicalmente sofisticados conseguiram reconhecer os trechos isolados de uma sequência de tons e discriminaram a presença dos trechos de duas notas, em ambos os ouvidos, os ouvintes inexperientes não. Entretanto, esses indivíduos musicalmente inexperientes conseguiram reconhecer todas as sequências de tom, principalmente quando o estímulo era apresentado no ouvido esquerdo (curiosamente, os participantes com experiência reconheceram melhor a sequência ao serem estimulados no ouvido direito).

Portanto, por mais que os 2 grupos tenham conseguido discriminar os casos em que uma sequência era uma repetição, essa discriminação foi melhor no ouvido direito para os experientes e melhor no ouvido esquerdo para os inexperientes. Diante disso, a dominância do hemisfério esquerdo para tais funções de análise explicaria a dominância do ouvido direito para o reconhecimento de melodias em ouvintes experientes, uma vez que à medida que a sua capacidade de análise musical aumenta, o hemisfério esquerdo torna-se cada vez mais envolvido no processamento da música (Bever e Chiarello, 1974).

Ainda quanto à percepção musical, estudos concluem que a música tem uma localização específica no hemisfério direito (Galaburda, LeMay, Kemper e Geschwind, 1978; Mehler, 1984). Nos casos de amusia, os casos clínicos relatam, na maioria das vezes, uma quebra seletiva do processamento musical após danos cerebrais sem que ocorra nenhuma outra perturbação concomitante em outras esferas de funcionamento cognitivo (Peretz e Morais, 1989). Esses casos são uma forte evidência de que o processamento musical tem sua própria esfera de domínio, isto é, como um sistema cognitivo especializado, relativamente independente de outros domínios, coincidindo com a hipótese de modularidade.

---

<sup>9</sup> Escala bem temperada de 1½ oitavas é um conjunto de 18 notas\* consecutivas, em afinação temperada, (oitava dividida em 12 semitonos de igual proporção) iniciando no Dó (256 Hz) e subindo semitom a semitom até cobrir uma oitava e meia.

Vale ressaltar, entretanto, que, com base em evidências atuais, vem sendo desafiada a perspectiva de dois sistemas amplamente independentes, com a linguagem estritamente lateralizada no hemisfério esquerdo e a música predominantemente lateralizada no hemisfério direito (Johansson, 2008). Embora a linguagem envolva predominantemente o hemisfério esquerdo, em tarefas que requerem processamento sintático sem outras demandas, também se observa a atuação do hemisfério direito no processamento linguístico (Jentschke, Koelsch e Friederici, 2008; Lee *et al.*, 2022; Neophytou *et al.*, 2023). Adicionalmente, a prosódia da linguagem é processada predominantemente no hemisfério direito. O hemisfério direito também participa do processamento de sentidos figurados das palavras.

Constata-se que Fodor (1983) defende que, para o domínio da audição, existem mecanismos modulares separados que servem à organização do tom, que envolve a sequência de notas/*pitches*, e à organização temporal, que envolve o ritmo. Por outro lado, Peretz e Morais (1989) questionam essa hipótese, a qual descreve a organização do tom independente da organização temporal, trazendo o problema de se esta autonomia estrutural seria traduzível em autonomia de processamento. Em outras palavras, por mais que a estrutura do tom e a do ritmo sejam diferentes, isso não significa que os processos cognitivos envolvidos na percepção e interpretação sejam completamente independentes.

Peretz e Morais (1989) sugerem que a percepção musical possa ser mais integrativa do que o previsto pela hipótese modular de Fodor, uma vez que os elementos melódicos e rítmicos da música muitas vezes interagem de maneiras complexas, o que pode implicar uma sobreposição nos mecanismos de processamento (Peretz e Morais, 1989). Portanto, a integração entre ritmo e melodia é algo que inevitavelmente está interligado na maioria das músicas. No entanto, isso não elimina a possibilidade de os ouvintes separarem ambos os componentes durante os estágios iniciais do processamento.

Dados neuropsicológicos fornecem um forte apoio à noção de que a melodia\* e o ritmo\* são servidos por sistemas independentes. No entanto, a independência perceptiva é difícil de verificar em experimentos, especialmente porque tais estudos geralmente exigem que os participantes realizem avaliações decisórias, o que pode alterar a percepção (Peretz e Morais, 1989). No estudo de Bever e Chiarello (1974) e outros referenciados acima, as tarefas envolviam algum tipo de julgamento pós-perceptual ou tinham um importante componente de memória. Assim, para investigar se o tom e a organização temporal são processados de forma autônoma nas etapas iniciais da análise perceptiva, seria preciso implementar tarefas que não exigissem explicitamente que os sujeitos atendessem a um desses componentes.

É importante observar que atualmente existem muitas teorias conexionistas relevantes no cenário científico, que não exatamente desafiam a necessidade de modularidade nas diversas funções mentais, e sim propõem modelos distribuídos com possíveis especializações locais emergentes. Nesse sentido, observa-se que, tradicionalmente, o principal debate sobre a arquitetura cerebral girava em torno de “conexionismo vs. modularidade”. Atualmente, entretanto, a discussão foca em quais aspectos da cognição podem ser modularizados e em como esses módulos emergem de redes neurais distribuídas e plásticas (Spivey, 2007).

A discussão dessas propostas está fora do escopo desta dissertação. De todo modo, para além da polarização em torno da noção de modularidade, adota-se nesta dissertação um posicionamento intermediário que propõe uma modularidade menos inflexível do que a de Fodor. Podem existir módulos independentes para determinadas funções, porém, ainda ocorrem alguns compartilhamentos de redes neurais para algumas funções. Mais adiante, serão apresentados estudos dissociativos e associativos, desenhando uma cronologia dessa literatura conflituante.

## 2.2 Evidências Neurofisiológicas

As evidências da neurociência geralmente descrevem de várias formas e graus a modularidade e submodularidade musical (Peretz, 2006). Uma proposta de submodularidade, ou seja, de sistemas parcialmente especializados, sustenta que alguns aspectos do processamento musical são separados e independentes para determinadas funções. Assim, neste contexto, há autores que formulam a perspectiva de sistemas partilhados com outras capacidades (Patel, 2008), como, talvez, com a linguagem. Em contrapartida, a hipótese da modularidade estende-se desde o sistema auditivo periférico até o córtex auditivo primário, considerando que os sistemas pré-corticais processam o amplo espectro sonoro de uma cena auditiva, avaliando a sincronicidade e a harmonicidade dos sons. Já a categoria tom pode emergir no sistema auditivo periférico e ser posteriormente extraída pelo córtex auditivo (Rawbone, 2021).

Há uma densa quantidade de evidências de áreas cerebrais que são ativadas simultaneamente durante o processamento da música e da linguagem (Maess et al., 2001; Patel *et al.*, 1998; Levitin e Menon, 2003; Jancke, 2012; Fitch e Martins, 2014). Maess *et al.* (2001) investigaram a localização neural do processamento da sintaxe musical, em particular, a área de Broca, tradicionalmente associada ao processamento da sintaxe linguística. Os participantes precisaram ouvir sequências de acordes musicais, havendo

alguns acordes inesperados, que violavam as regras sintáticas da música tonal ocidental. Eles usaram a magnetoencefalografia (MEG) para registrar a ativação cerebral e observar a resposta neural quanto a essas violações. Concluíram que os acordes inesperados causavam respostas significativas na área de Broca. Isso sugeriu um envolvimento dessa área no processamento da sintaxe musical, tal como na sintaxe linguística, mostrando uma possível sobreposição nos mecanismos neurais.

Fitch e Martins (2014) apontam que a área de Broca, especificamente a área de Brodmann (BA 44/45), é essencial para a organização do processamento hierárquico da linguagem e da música, sendo um “*Buffer Escaneável*” que atua como um espaço de memória temporária para armazenar e organizar elementos para formar sequências hierárquicas complexas. Estes autores (que serão estudados na divisão 8.2) investigaram a literatura de estudos neurológicos mais recentes e acrescentaram, afirmando que a música não está totalmente separada da área de Broca, apesar de também não ser processada exclusivamente nesta região. Na verdade, o argumento é que a área BA 44/45 pode ser ativada por estruturas musicais hierárquicas (principalmente quando ocorre violação de expectativas harmônicas), então a música pode recrutar a área de Broca, assim como há também ativações na área pré-motora, no córtex auditivo e nos gânglios da base. Isso sugere um compartilhamento parcial de mecanismos neurais entre música e linguagem, existindo, também, específicas especializações distintas em cada domínio.

Levitin e Menon (2003) investigaram, por meio de neuroimagem magnética funcional (fMRI), se os correlatos neuroanatômicos da estrutura musical, diante da percepção da estrutura musical (coerência temporal), envolvem áreas cerebrais tradicionalmente associadas à linguagem, como a área de Brodmann 47 (associada ao processamento semântico, sintático e à manutenção de informações temporais) no córtex pré-frontal inferior esquerdo e seu homólogo direito. A razão principal dos autores para investigar esse tema foi a percepção de que as frases de todas as línguas humanas (oral e sinalizada) possuem uma forma linear e um sistema hierárquico mediado por regras, tal como o caso da música, a qual é composta por progressões de notas e harmonias que não são ordenadas aleatoriamente. Por exemplo, eles usam o argumento da progressão de acordes IV-V-I (acorde subdominante\*, dominante\* e fundamental\*), que, no campo da teoria musical, é uma progressão que traz uma resolução auditiva, gerando uma expectativa entre o quarto e o quinto grau e uma resolução ao progredir para a fundamental (I). Contudo, a ordem progressiva de I-V-IV (fundamental, dominante e subdominante) não soa como resolvida, não há uma resolução. Por isso, diante da semelhança de uma rica estrutura sintática por meio da qual os elementos são organizados

de maneira hierárquica em sequências mediadas por regras, o estudo comparou as respostas cerebrais, dando ênfase à área BA 47. O conceito central é que o cérebro processa estruturas temporais, sejam linguísticas ou musicais, usando algumas redes neurais sobrepostas.

Para isso, Levitin e Menon (2003) compararam respostas cerebrais fMRI de 13 participantes adultos, destros, com audição normal e sem treinamento formal em música, enquanto ouviam trechos de músicas clássicas (23 segundos) e versões embaralhadas desses trechos. As versões embaralhadas interromperam a estrutura musical, mantendo características acústicas de baixo nível como altura\*, intensidade\* e timbre\*, mas foram quebradas as relações temporais, como melodia, ritmo e contornos (reorganizando aleatoriamente segmentos de 250 a 350 ms com transições de 30 ms). A comparação dessas músicas e suas contrapartes embaralhadas trouxe resultados que apontaram a ativação focal na região *pars orbitalis* (Área 47 de Brodmann) do córtex frontal inferior esquerdo. Esses resultados sugerem que a área BA 47, tradicionalmente associada à linguagem, pode estar envolvida na percepção de estrutura temporal musical em pessoas sem treinamento musical formal prévio. Também houve ativação em regiões subcorticais associadas à emoção e ao processamento de som.

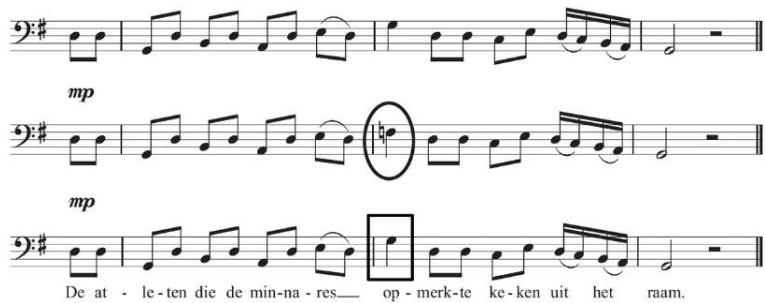
Diante da observação de que a linguagem e a música (instrumental) são sistemas sintáticos que empregam sequências complexas e hierarquicamente estruturas, baseadas em normas estruturais, Kunert *et al.* (2015) investigaram se a sintaxe musical e a sintaxe linguística compartilham alguns recursos neurais, em particular, na área de Broca (giro frontal inferior esquerdo). Os autores definem processamento da sintaxe musical como processamento da estrutura harmônica, ou seja, a organização das alturas dentro das escalas e tonalidades. Na música ocidental, as alturas tonais/harmônicas consistem em 12 alturas por oitava, Dó (tom\*), Dó# (sustenido\*; meio tom\*), Ré, Ré#, Mi, Fá, Fá#, Sol, Sol#, Lá, Lá#, Si. Cada oitava corresponde a uma repetição desse conjunto de 12 sons, mas em diferentes faixas de frequência, podendo soar mais agudo ou mais grave (Med, 1996).

Kunert e colaboradores (2015) reuniram 19 adultos falantes nativos de holandês, com pouca formação musical e destros. Como metodologia de pesquisa, usaram imagens de ressonância magnética funcional (fMRI) em conjunto com um paradigma de interferência baseado em frases cantadas. Os dois estímulos apresentados para os participantes foram: (i) frases em holandês com manipulações sintáticas (orações relativas de sujeito - *The athlete that noticed the mistress looked out of the window* [O atleta que percebeu a amante olhou pela janela]; e orações relativas de objeto - *The athletes that the*

*mistress noticed looked out of the window* [Os atletas que a amante percebeu olharam pela janela]); (ii) melodias com manipulações musicais, sendo nota dentro da tonalidade, nota fora da tonalidade e anomalia auditiva (nota em tonalidade mais alta). Ambos os estímulos foram apresentados juntos, como frases cantadas a *capella*, sendo cada sentença linguística (Relativas de Suj. e Relativas de Obj.) com uma melodia específica que variou dentre as três condições (fora da tonalidade, dentro da tonalidade e anomalia auditiva).

As manipulações musicais (o tom esperado e o tom inesperado) ocorreram na palavra crítica da frase (o verbo da cláusula relativa). Por exemplo, na primeira frase musical, a melodia mostra a condição da *nota dentro do tom* (Mi natural na escala de Sol Maior). Na segunda, a condição *fora da tonalidade*, devida ao Fá natural, que deveria ser Fá sustenido. O tom manipulado coincide com a sílaba tônica do verbo da oração relativa. A última melodia mostra a condição de *anomalia auditiva*, na qual as notas estão na escala de Sol Maior, mas o tom crítico (Mi natural) é 10 dB mais alto.

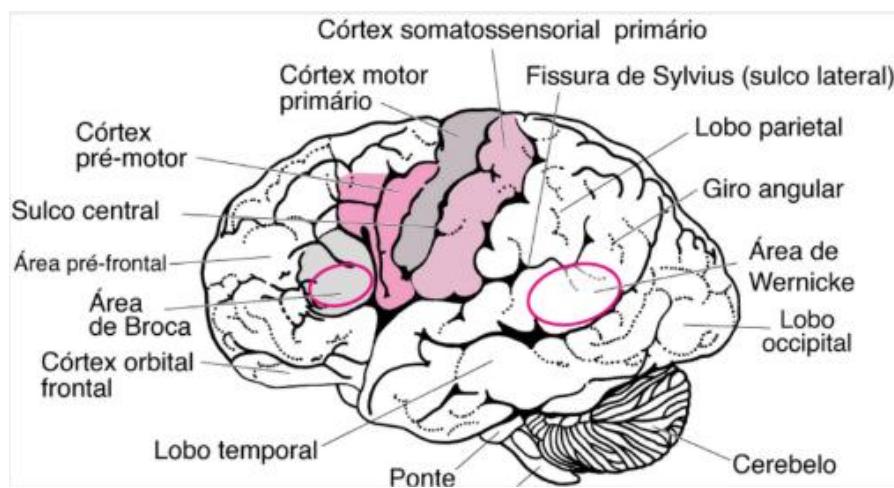
**FIGURA 3** – Partitura do Experimento de Kunert *et al.* (2015)



**Fonte:** Kunert e colaboradores (2015).

Os resultados sugeriram que ocorreu ativação no giro frontal inferior esquerdo (Área de Broca) quando havia alta demanda sintática na linguagem e na música. Um efeito principal na linguagem na área de Broca só ocorreu na condição de harmonia\* musical complexa, em outras palavras, o aumento na ativação de frases linguísticas complexas (relativas de objeto) só aparece quando a melodia da música apresentava a nota fora da tonalidade (inesperado). Esse resultado sugere que uma sobrecarga musical pode interferir no processamento sintático da linguagem, ocorrendo uma “competição” por recursos comuns nesta região. Além disso, não foi observado efeito no homólogo direito da área de Broca, sugerindo lateralização clara no hemisfério esquerdo para essa interação.

**FIGURA 4** – Ilustração Educativa da Anatomia Cerebral



**Fonte:** Sulkes, Pekarsky (2025)

Em suma, as evidências apresentadas apontam para uma relação complexa entre música e linguagem, em que tanto a hipótese da modularidade quanto a da submodularidade são possibilidades. Estudos com diferentes metodologias da neurociência mostram que a área de Broca (BA 44/45 e BA 47) desempenha papel central no processamento sintático de ambos os domínios, indicando compartilhamento parcial de mecanismos neurais. Ao mesmo tempo, identificam-se especializações próprias em cada sistema, o que sugere que música e linguagem não operam de maneira totalmente independente nem totalmente sobreposta, mas por meio de uma rede dinâmica que combina recursos comuns e específicos. No próximo capítulo, serão apresentadas dissociações que questionam o compartilhamento neural, com o objetivo de ampliar o panorama da discussão sobre as relações entre música e linguagem.

### 3. Dissociações

Como dito anteriormente, Jackendoff (1987) foi um dos autores a propor sistemas modulares para a percepção musical. Em sua obra de 2009, ele destaca diferenças fundamentais entre linguagem verbal e música. A primeira precisa transmitir um pensamento proposicional, enquanto a música tem uma característica maior de alterar o afeto/emoção. A linguagem verbal possibilita um mapeamento entre sons vocais (ou correlatos) e o pensamento proposicional; a essência de um enunciado linguístico pode ser traduzida para qualquer idioma, porém, nada disso ocorre na música.

Diante de uma abordagem mais formal dos dispositivos de construção da música e da linguagem verbal, observa-se que ambas envolvem uma sequência de sons (os sons da fala na linguagem e os tons ou mudanças de altura na música). Por mais que essa semelhança possa sugerir estruturas semelhantes, na verdade, a questão da estrutura fonológica é bem diferente, visto que os sons da fala são compostos por um espaço estruturado de timbres, vogais e consoantes, além de serem diferenciados pela duração. Já na música, as notas vão se distinguir por uma ampla gama de comprimentos relativos às alturas num certo momento (Jackendoff, 2009).

Ademais, ainda que a linguagem verbal e a música partilhem um número considerável de características gerais e uma característica formal detalhada (a estrutura métrica), grande parte do que é partilhado não significa nem indica uma relação estreita que torne a música e a linguagem verbal semelhantes entre si. Em suma, a linguagem verbal e a música diferem-se muito em suas estruturas rítmicas, no uso da altura, no sentido de transmissão (um proposicional e o outro afetivo/emocional), na forma e na função das estruturas hierárquicas.

#### 3.1 Modularidade Musical

Há evidências de que o processamento sintático musical depende de mecanismos neurais distintos dos envolvidos na linguagem verbal, principalmente nos estudos que apresentam dissociações entre distúrbios da linguagem verbal e do processamento musical (Ayotte, Peretz e Hyde, 2002; Peretz e Coltheart, 2003). Por exemplo, crianças atípicas que conseguem cantar, mas não falar (Mogharbel *et al.*, 2005-2006).

Uma distinção empírica entre o ritmo na fala e na música é a periodicidade, que consiste no princípio de que certos eventos ocorrem em intervalos de tempo regulares e

previsíveis. A teoria do ritmo da fala trata de duas classes de línguas<sup>10</sup>: *stress-timed languages* (p.e. inglês; alemão) e *syllable-timed languages* (p.e. italiano; francês, português brasileiro). Uma comparação rítmica entre linguagem e música traz o problema de que, na música, os padrões periódicos são rigorosamente regulados, estáveis e constantes, enquanto a fala possui padrões rítmicos inconsistentes e nem sempre uma regularidade (Patel, 2003).

Quanto à proposta de modularidade no processamento musical, há duas principais teorias a serem mais consideradas: (1) A Modularidade Perceptual, que é a hipótese de que o processamento musical ocorre dentro de uma Faculdade Musical, ou seja, um sistema cognitivo inato e modular dedicado especificamente à percepção e produção de música (Peretz, 2009); e (2) a hipótese da Linguagem do Pensamento Musical (do inglês: LMT - *Language of Musical Thought*), que traz a ideia de uma linguagem musical computacional de alto nível que processa conceitos complexos (Rawbone, 2021).

Quanto à segunda hipótese, da Linguagem do Pensamento Musical (LPM), esta está de acordo com a ideia proposta por Fodor (1975, 2008), que seria um tipo de linguagem análoga a um sistema computacional, seguindo a Teoria Computacional da Mente Clássica (*CCTM - Classical Computational Theory of Mind*). Assim, tal linguagem computacional do pensamento teria um conteúdo conceitual (semântico/informacional), no qual esses conceitos mais complexos (acordes; campo harmônico) herdam a estrutura semântica e sintática dos conceitos básicos de tom e ritmo (Rawbone, 2021). A LPM processa a informação simbólica por um motor sintático (Fodor, 2008), explicando como o ser humano consegue processar termos complexos rapidamente e de forma eficiente na audição musical, apesar de não ter acesso a léxicos musicais (Rawbone, 2021).

Ademais, Rawbone (2021) argumenta que a percepção musical é realizada por meio de módulos de entrada específicos, fundamentada nos conceitos básicos nos domínios do ritmo e do tom. Esses sistemas seriam inatos, específicos de domínio e encapsulados informacionalmente. Os módulos mais intrincados dessa Faculdade de Música seriam responsáveis e construiriam os conceitos mais complexos, compreendendo uma sintaxe composicional, restrita à Linguagem do Pensamento Musical (LPM). Apesar de a Linguagem do Pensamento Musical (LPM) se localizar na Faculdade Musical (FM), a teoria aponta que os sistemas subcentrais que a montam são mediados por sistemas de domínio geral, situados fora da Faculdade de Música (FM). Tais sistemas “centrais”, que vão além da Faculdade Musical, seriam essenciais para lidar com informações ambíguas

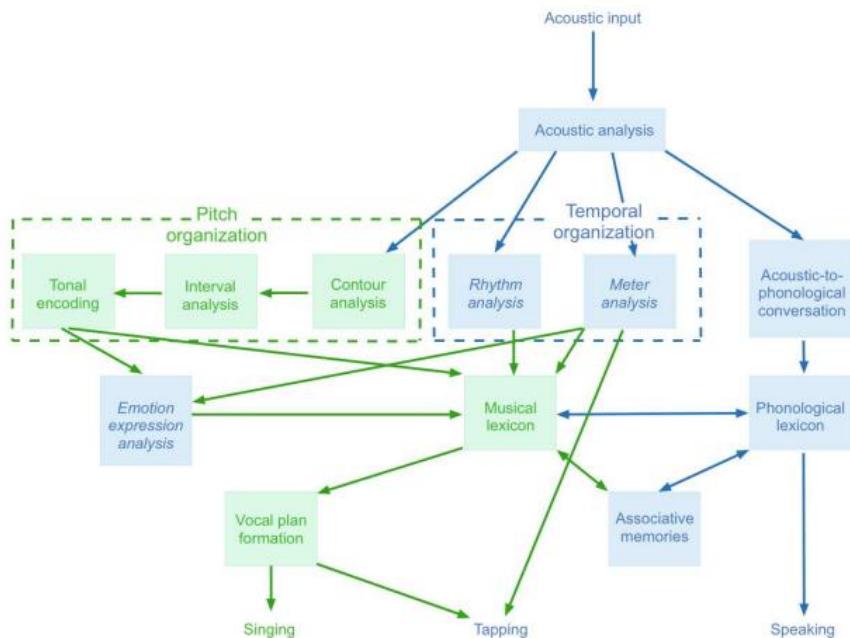
---

<sup>10</sup> Ressalta a questão sobre se as duas categorias são realmente suficientes para classificar os ritmos linguísticos; ou mesmo se as categorias são simplesmente extremos de um *continuum*.

ou incongruentes, além de integrar diversas outras fontes de informação, por exemplo, consolidando as representações de percepção e memória (Rawbone, 2021).

Os sistemas musicais e linguísticos, com uma natureza infinitamente combinatória, possuem um sistema de regras específicas únicas em cada cultura que devem ser aprendidas antes que a compreensão no nível adulto possa ocorrer. McMullen e Saffran (2004) abordam como bebês aprendem a gramática do sistema musical de forma mais lenta do que a aquisição da linguagem. A possível razão para a aquisição do ritmo musical ser mais lenta se dá diante de duas possibilidades: a primeira, devido às crianças serem menos expostas a exemplos de frases musicais em comparação às linguísticas; e, a segunda, por conta de os benefícios comunicativos práticos do conhecimento da estrutura tonal serem menores do que os de conhecimento linguístico (McMullen e Saffran, 2004). Por fim, Peretz e Coltheart (2003) desenvolveram um modelo para retratar a modularidade musical, com sistemas distintos para o processamento de tom e ritmo, trabalhando com a hipótese de um léxico musical.

**FIGURA 5** – Modelo de Modularidade Musical



**Fonte:** Peretz e Coltheart (2003).

Na figura, é apresentado um modelo cognitivo do processamento musical, mostrando como diferentes componentes da percepção auditiva se organizam. O som, ao entrar no sistema auditivo, passa por uma etapa inicial de análise acústica que se ramifica em dois domínios principais: a organização tonal e a organização temporal. Ambos os domínios convergem para o léxico musical. O modelo também mostra que a análise

acústica pode alimentar diretamente a conversão acústico-fonológica e o léxico fonológico, evidenciando a interface entre música e fala.

### 3.2 Amusia e Afasia

Pacientes que, após lesões cerebrais, apresentaram afasia sem perda de habilidades musicais ou, vice-versa, amusia sem prejuízos linguísticos (Amaducci, Grassi e Boller, 2002) são evidências fundamentais de uma dupla dissociação entre música e linguagem, que apontam para a autonomia funcional de ambos os processos.

A amusia adquirida é um distúrbio caracterizado por um comprometimento grave da percepção e/ou da produção musical. Tradicionalmente, o termo “amusia” se referia a um déficit no processamento da música decorrente de danos cerebrais em diferentes regiões temporais, frontais, parietais e subcorticais (Stewart *et al.*, 2006). Poucos estudos fornecem um dado preciso quanto à localização da região cerebral que provoca a amusia (Sihvonen *et al.*, 2016). Recentemente, foi descoberta uma forma congênita de amusia sem histórico de lesão cerebral, podendo ser provocada por um desenvolvimento cerebral anormal (Peretz e Vuvan, 2017). Assim sendo, tem-se amusia adquirida e congênita.

A amusia adquirida e a amusia congênita podem resultar de diferentes bases neurais, uma vez que a congênita não se trata apenas de uma percepção musical prejudicada, mas de um déficit de desenvolvimento na aquisição da sintaxe musical ou uma falta de exposição à música (Stewart, 2008). Nos distúrbios de desenvolvimento da linguagem, podem ser encontradas evidências de crianças atípicas que conseguem cantar, mas não falar (Mogharbel *et al.*, 2005-2006), assim como indivíduos com problemas como amusia congênita que não conseguem cantar, apesar de falarem normalmente (Ayotte *et al.*, 2002). Também há indivíduos com dificuldades na organização sequencial do tom, mas que não necessariamente têm problema com intervalos de tempo (Hyde e Peretz, 2004). As pesquisas indicam que esse déficit é mais aparente quando os músicos precisam detectar uma nota anômala, no caso, uma nota fora do tom em uma melodia comum (Ayotte *et al.*, 2002).

Pelo fato de os indivíduos amúsicos não apresentarem distúrbios de fala, os dados disponíveis são compatíveis com a ideia de que existem dois fatores inatos quanto à aquisição de música: a sequenciação temporal e a sequenciação de altura (Peretz, 2012). A hipótese de que a melodia e o ritmo são processados de modo autônomo antes de serem integrados é apoiada pelas associações comportamentais que ocorrem como consequência de lesões cerebrais (Peretz e Morais, 1989). Foi observado um fenômeno de dissociação

dupla, no qual um paciente podia processar o ritmo, mas não a melodia, enquanto outro paciente apresentou um padrão oposto. Esses estudos indicam que no canto, o ritmo pode ter um prejuízo, enquanto a melodia pode ser preservada, vice-versa (Mavlov, 1980; Brust, 1980).

Mavlov (1980) analisou um músico profissional, destro, que após sofrer um acidente vascular cerebral desenvolveu grave dificuldade em reconhecer/produzir ritmos. Contudo, suas habilidades de reconhecimento/produção de tons (individuais e sequências) foram completamente preservadas. O estudo trouxe evidências de como o reconhecimento e a reprodução de padrões rítmicos foram igualmente perturbados, independentemente de serem percebidos auditivamente, visualmente ou taticamente. Além disso, esse distúrbio supramodal desencadeou uma amusia grave, apesar da capacidade de reconhecer e produzir tons ter sido preservada. Esses dados indicam que talvez não exista uma integração da tonalidade e do ritmo, sendo seus funcionamentos independentes. O estudo de Gordon e Bogen (1974) mostrou que a aplicação intencional de Amytal sódico (Amobarbital barbitúrico) no hemisfério direito prejudicou os aspectos tonais-melódicos do canto, mas não o ritmo.

Ademais, diferenças no processamento sonoro entre música e linguagem verbal foram observadas em estudos que analisaram os implantes cocleares em crianças e adultos. Dependendo do caso, os implantes podem proporcionar aos surdos uma compreensão da fala, mas a percepção musical continua sendo um desafio (Johansson, 2008). Vale observar que indivíduos com amusia têm dificuldade em discriminar contornos de entonação extraídos da fala, o que sugere uma dissociação entre a percepção de tom na fala e na música. Esse achado indica que o déficit desses indivíduos ocorre em um nível mais elevado do que a simples detecção de mudanças de tom (Johansson, 2008).

Schön e François (2011) examinaram a relação entre a *expertise* musical (alta capacidade de perceber e processar estruturas musicais) e a capacidade de aprendizado de estruturas musicais e linguísticas, dando ênfase a pacientes afásicos. Os autores investigaram se indivíduos com afasia ainda poderiam desenvolver as habilidades musicais, sugerindo a ideia de que o cérebro processa a música e a linguagem verbal de modo independente e distinto. O estudo utilizou métodos de aprendizado estatístico (capacidade de identificar padrões e regularidades em estímulos sensoriais) para averiguar como esses pacientes processam estruturas musicais e linguísticas. Os dados sugerem que a experiência musical pode atuar como um fator de proteção para habilidades cognitivas específicas, o que permite aos afásicos ainda terem um nível de *expertise* musical (Schon e François, 2011).

Curiosamente, Brust (1980) investigou dois músicos profissionais, destros e afásicos, que apresentaram lesões no hemisfério esquerdo. Ambos os participantes tiveram a função musical prejudicada, especificamente, alexia musical (dificuldade de leitura musical) e agraphia (dificuldade de escrita musical). No primeiro caso, a afasia era do tipo sensorial transcortical, com dificuldade de escrita grave e dificuldade na compreensão de palavras escritas, apesar de poderem ser associadas a imagens. Nesse caso, a capacidade musical não tinha alteração, o paciente conseguia cantar em cinco línguas. Já no segundo caso, constataram uma afasia de condução e amusia expressiva grave quanto ao ritmo. Por mais que a agraphia e a alexia linguísticas fossem mais brandas do que no primeiro caso, esse participante tinha alexia e agraphia musical mais severas, afetando ritmo e tom. Esses casos mostram, portanto, que a presença ou ausência de afasia (ou algum dano no hemisfério esquerdo ou direito) não pode prever a presença, o tipo ou a gravidade dos sintomas de amusia, em específico, alexia e agraphia musical.

O posicionamento de Brust (1980), com base nos casos apresentados, é que não existe uma correspondência previsível entre os sistemas musicais e linguísticos, podendo funcionar de forma relativamente independente. O autor é contra os argumentos inflexíveis de que o hemisfério esquerdo apenas opera a linguagem, enquanto o direito somente opera a música, uma vez que amusia receptiva pode estar ligada a lesões temporais esquerdas. Assim, ele argumenta que ambos os complexos sistemas compartilham algumas capacidades cognitivas e são parcialmente independentes, processados por redes em partes distintas, sem haver, necessariamente, uma sobreposição rígida.

Recentemente, Sihvonen *et al.* (2024) destacam como lesões que causam amusia ocorrem em vários locais do cérebro, deixando dúvidas quanto às exatas áreas do cérebro sistematicamente associadas a essa condição. Os autores abordam como falta um modelo de rede funcional envolvido especificamente no processamento musical que foi danificado pela lesão, acarretando os sintomas de amusia. Compreende-se que estudos anteriores observaram que a afasia pode ser acarretada por lesões nas áreas frontal inferior esquerda e pré-central, além de danos ao córtex temporoparietal esquerdo. No entanto, a localização exata das lesões que dão origem à amusia permanece incerta. Por mais que lesões localizadas no córtex frontal inferior esquerdo e direito, assim como os gânglios da base direito e as regiões temporais superiores, demonstrem estar associadas ao desenvolvimento de amusia, ainda assim, diversos casos relataram amusia em locais heterogêneos do cérebro, sem um exato consenso sobre as principais estruturas envolvidas.

Diante disso, por meio de mapeamento de redes de lesões (*Lesion Network Mapping*), Sihvonen *et al.* (2024) buscaram entender as regiões afetadas que levam à amusia adquirida e, principalmente, se estão conectadas funcionalmente a uma rede cerebral comum. Noventa e três pacientes participaram, sendo pessoas que desenvolveram amusia após AVC, trauma ou remoção cirúrgica de tecido cerebral. Após padronizar os dados e realizar comparações entre diferentes regiões cerebrais dos participantes, todos, para além da topografia anatômica da lesão, tinham as áreas comprometidas conectadas à junção temporoparietal direita (rTPJ). Após identificarem essa localização em comum nos pacientes com amusia adquirida, essa análise foi repetida em um grupo de pacientes com afasia adquirida, provocada por lesões cerebrais, sem manifestar déficits musicais. Foi evidenciado que as lesões se conectam a um circuito distinto, no hemisfério esquerdo. Portanto, Sihvonen *et al.* (2024) mostraram como a amusia e a afasia adquirida, por mais que possam surgir através de lesões focais, mapeiam-se em redes funcionais diferentes, apoiando a modularidade proposta por Fodor (1983).

#### 4. Possíveis Associações – Hipóteses e Evidências

Por mais que diversos estudos da neurociência concluam que o processamento musical se utiliza, em grande parte, de circuitos do cérebro em ambos os hemisférios (Peretz e Zatorre, 2005), isso não significa, necessariamente, serem contrários à hipótese da modularidade. A modularidade pode coexistir com diversas formas de sistemas centrais de domínio geral, explicando a atividade cortical generalizada (Rawbone, 2021).

Assim, estudos têm examinado os efeitos da transferência entre domínios — no caso, como as habilidades musicais podem afetar as habilidades linguísticas e vice-versa. Tal caminho de investigação visa a uma mediação por mecanismos semelhantes que são compartilhados entre essas habilidades, considerando a ideia de que ambas podem ter raízes/origens iguais. Uma dessas propostas quanto à natureza desse compartilhamento pode ser explicada por uma mesma origem genética, como, por exemplo, o gene FOXP2 (Peretz, 2012).

A teoria do gene FOXP2 como um possível responsável pela fala surgiu por meio de estudos com a família KE (sobre *Language-Impaired Individuals*), na qual, durante três gerações, metade dos integrantes teve problemas de linguagem e fala. Sabe-se que metade dos filhos dos pais afetados pela dificuldade de linguagem também apresentou as mesmas dificuldades, enquanto nenhum dos filhos de indivíduos não afetados as apresentou.

A desordem de fala e linguagem dessa família específica foi consequência de variantes patogênicas heterozigotas do FOXP2 (FOXP2-SLD), como relatam Morgan, Fisher, Scheffer *et al.* (2023). O gene FOXP2-SLD é conhecido por provocar o transtorno de fala. Caracteriza-se por dispraxia motora oral, apraxia da fala na infância (CAS) e dificuldades de leitura e ortografia, sendo afetados o planejamento motor da fala e o sequenciamento dos sons da fala em sílabas. Além da ênfase dos sons e aspectos linguísticos como fonologia e alfabetização (Morgan, Fisher, Scheffer *et al.*, 2023).

A família KE, por apresentar dificuldade nos movimentos orais, levantou questionamentos se a mutação do gene FOXP2 também poderia afetar as habilidades musicais, como cantar (Peretz, 2012). Alcock *et al.* (2000) realizaram testes com membros afetados da família KE, observando que eles tinham dificuldade na produção e percepção de ritmo. Por conta desse detalhe, a linha de estudo que defende que a música e a linguagem compartilham funções semelhantes e origens similares aponta que o FOXP2 parece estar envolvido na fala e no ritmo (Peretz, 2012). Vale destacar que é

considerado que as habilidades musicais baseadas no tom parecem ser comandadas por fatores genéticos distintos, uma vez que indivíduos com amusia têm o ritmo preservado, mas a percepção/escuta para tons prejudicada (Ayotte *et al.*, 2002).

McMullen e Saffran (2004) argumentam que, embora os processos musicais e linguísticos sejam modularizados, talvez possam existir bases de desenvolvimento semelhantes para ambos os domínios. Assim, a modularidade seria emergente e não presente desde o início da vida. Essa perspectiva traz uma proposta muito interessante, visto que a música, assim como a linguagem verbal, concentra-se no conhecimento adquirido implicitamente a partir da exposição constante. Logo, os processos envolvem a construção de estruturas a partir de informações ambientais. Desse modo, a aprendizagem, junto a predisposições perceptivas e cognitivas, eventualmente desencadeia o conhecimento adulto em cada domínio (McMullen e Saffran, 2004).

#### **4.1 Similaridades na Percepção Auditiva**

A fala e a música fazem uso de um conjunto finito de sons, extraídos de um conjunto maior de possíveis sons, e propriedades desses sons definem categorias distintas, facilitando a representação e a memória. Observa-se que ambos os domínios estão sujeitos a eventos auditivos e ao processo de percepção categórica (na linguagem verbal e na música, mesmo por não-músicos). Para além do nível segmental, tanto na linguagem verbal quanto na música, as pistas suprasegmentais são altamente salientes para os bebês, sendo estes padrões de ritmo, ênfase, entonação, fraseado e contorno possíveis elementos que conduzem a grande parte do processamento inicial de ambos os domínios (McMullen e Saffran, 2004).

Quanto às funções compartilhadas entre a música e a linguagem, é interessante observar que o ato de cantar é uma combinação única de fala e música. É importante considerar que a melodia e os versos que a acompanham estão ligados e são ouvidos e tocados simultaneamente, de forma combinada. Constata-se que por volta de um ano de idade, ou a partir dos 18 meses, bebês começam a produzir canções que podem ser reconhecíveis (Peretz, 2012). Tal proficiência inicial é encontrada no canto adulto de modo mais desenvolvido em termos de altura\* e andamento\*. Em músicos, a consciência por meio da experiência e pelo convívio gera ainda mais conhecimento, como afinação, ritmos complexos, conhecimento do campo harmônico, etc. Por isso, Loui *et al.* (2008)

consideram o canto como uma nova área de estudo que traz perspectivas quanto à compreensão da cognição musical em relação à linguagem.

A prática musical traz um enorme potencial no desenvolvimento cognitivo devido às múltiplas demandas simultâneas que são ativadas, como a atenção, o planejamento e a memória, possibilitando o desencadeamento de efeitos de transferência. A possível relação benéfica do estudo da música na cognição, por mais que seja limitada, é reconhecida. Esses benefícios poderiam afetar as habilidades linguísticas, capacidades sociais ou motoras (Milovanov e Tervaniemi, 2011).

## 4.2 Efeito de Transferência

É evidente que tanto a música quanto a linguagem dependem de sequências sonoras ricamente estruturadas. No entanto, os mecanismos que analisam essa relação ainda não são bem compreendidos (Patel e Iversen, 2007). As habilidades musicais e as habilidades linguísticas relacionadas ao tom e ao ritmo são objetos de estudo que buscam fazer essa conexão. Além disso, os estudos que examinam os efeitos de longo prazo do treinamento formal musical nas habilidades de linguagem trazem valiosos *insights* sobre a plasticidade e estratégias de aprendizagem (Marin, 2009).

É importante ressaltar que as implicações cognitivas de ter aulas de música são distintas dos efeitos de curto prazo da audição musical, já que efeitos transitórios provocados pelo estímulo auditivo de música são considerados instâncias de *priming*, enquanto os benefícios do treinamento musical podem ser vistos como efeitos de transferência positivos (Thompson, Schellenberg, Husain, 2004). Por exemplo, Rauscher, Shaw e Ky (1993, 1995) observaram que a música composta por Mozart provocou melhorias temporárias nas habilidades espaciais, sendo estes resultados *de priming crossmodal*, visto que o estímulo de *priming* (música) aparentemente não está relacionado com uma tarefa espacial. Pesquisas contrárias, no entanto, apontaram que o Efeito Mozart nada tem a ver particularmente com Mozart ou com a música em geral, e sim com a preferência de cada participante (Nantais e Schellenberg, 1999).

No efeito de transferência, uma das explicações é que processos semelhantes ou sobrepostos estão envolvidos na decodificação, tanto na música quanto na linguagem (como a questão do significado emocional na prosódia da fala e na música). Então, o efeito de transferência positivo ocorre quando uma experiência anterior de resolução influencia a resolução de uma nova experiência (Thompson, Schellenberg, Husain, 2004).

Por mais que muitos estudos mostrem que não existe propriamente um benefício na linguagem acarretado pelo treinamento musical, essa literatura vem sendo debatida. Novas evidências sugerem que os efeitos da perícia musical resultam da prática musical intensiva e não a partir de predisposições específicas musicais, sendo que esse treinamento musical está relacionado tanto com a idade do início do processo de estudo quanto com a extensão do tipo de prática (Moreno *et al.*, 2008; Hyde *et al.*, 2009). Ademais, novas evidências que também desafiam essa literatura sugerem que a experiência/prática musical pode favorecer crianças com desenvolvimento atípico na linguagem (Flauggnacco *et al.*, 2015). Diante disso, os resultados são conflituosos e às vezes controversos. Portanto, depende muito do que cada estudo tenta investigar e de que resultados busca alcançar, uma vez que existem muitas possibilidades e formas de metodologias para verificar as previsões propostas.

Pesquisas na neurociência investigam a capacitação musical no cérebro, tendo algumas hipóteses de que existe uma relação entre a localização da célula sensorial na cóclea e a frequência de vibração dos sons agudos para os graves (Muszkat, 2019). Além disso, a sensopercepção musical se dá nas áreas projetadas no lobo temporal (côrtez auditivo) ou então na área auditiva primária, responsável pela decodificação dos contornos e ritmos musicais (Muszkat, 2019). Segundo esses estudos, a música afeta beneficamente o funcionamento cerebral através das práticas e da escuta.

Outras investigações buscam compreender se há uma possível relação entre a aptidão musical e as habilidades linguísticas de segunda língua. Milovanov *et al.* (2008) examinaram a relação entre aptidão musical e habilidades de pronúncia de segunda língua em crianças, em termos de habilidades de pronúncia de segunda língua e habilidades de discriminação de fonemas. Os autores examinaram a relação entre aptidão musical e habilidades de pronúncia em segunda língua em crianças (finlandesas) que falavam inglês como segunda língua. As crianças foram divididas em dois grupos: 20 crianças com habilidades de pronúncia avançada em inglês e 20 com habilidades de pronúncia menos precisas em inglês. Todas participaram e realizaram subtestes de musicalidade individuais do *Seashore*<sup>11</sup>. As crianças com habilidades avançadas tiveram resultados melhores do que o grupo menos avançado de pronúncia nas tarefas de discriminação de altura, timbre, senso de ritmo e senso de tonalidade. Assim, o grupo de pronúncia avançada teve um maior número de respostas corretas e menor número de erros nos testes, tanto de discriminação musical quanto fonêmica.

---

<sup>11</sup> O Teste de Seashore é uma bateria de testes psicométricos criada por Carl Emil Seashore (1866–1949). Foi desenvolvido para medir habilidades musicais básicas inatas, especialmente as perceptivas.

Por mais que seja incerto quais seriam os mecanismos neurais possivelmente compartilhados entre as funções linguísticas e musicais, muitos pesquisadores buscam investigar a relação e possíveis associações entre prática musical e dificuldades de linguagem. Overy (2003), ao estudar crianças disléxicas, aborda como teorias atuais sugerem que os déficits de temporização podem ser um fator-chave desta dificuldade de leitura. Para isso, Overy (2003) desenvolveu um programa de pesquisa que avaliou crianças disléxicas que tiveram aulas de música. Foi verificado se a prática musical teve um efeito positivo nas habilidades fonológicas e ortográficas. Os resultados encontrados foram que essas crianças tiveram dificuldade de temporização nos domínios da linguagem, da música, da percepção e da cognição, além de controle motor. Outro achado foi que as crianças disléxicas tiveram dificuldades com as habilidades de tempo musical, mas não mostraram dificuldades com as habilidades de afinação.

Segundo o estudo realizado por Muszkat (2019), o treinamento musical e a exposição prolongada à música aumentam a produção de neurotrofinas no cérebro, provocando possíveis chances de aumento da sobrevivência de neurônios, além de mudanças de padrões de conectividade cerebral (plasticidade cerebral). Assim, a hipótese propõe que o treinamento musical pode aumentar o tamanho e a conectividade (sinapses-contatos entre os neurônios) de várias áreas cerebrais (Muszkat, 2019). Devido à maior ativação cerebral provocada pela prática musical, a previsão aponta que esta pode potencializar também as funções linguísticas que são sediadas no mesmo hemisfério cerebral esquerdo.

Diversas evidências demonstraram que a prática musical traz consequências positivas na organização anátomo-funcional do cérebro (Magne *et al.*, 2006). Existem diversos caminhos de estudo pelos quais essa relação pode caminhar. Overy (2003) também buscou entender os possíveis efeitos do treinamento musical na terapia de TDL, Herholz e Zatorre (2012) exploraram a literatura sobre os efeitos do treinamento no sistema auditivo e sensório-motor, e em sua integração, relacionando, assim, o treinamento musical, como um modelo de plasticidade, a outros modelos de aprendizado. Outros pesquisadores investigaram e forneceram evidências de benefícios de memórias acarretados pela habilidade musical/treinamento musical, como Bergman Nutley, Darki e Klingberg (2014); Roden, Grube, Bongard e Kreutz (2014). Por isso, essas “alterações” anatômicas provocadas pela prática musical têm diversas implicações funcionais, indicando que o estudo musical pode provocar consequências na organização anátomo-funcional de regiões cerebrais que não necessariamente são específicas no processamento da música (Magne *et al.*, 2006).

Outras pesquisas apontam a hipótese de que o treinamento musical pode facilitar o processamento do tom na música e na linguagem. Magne *et al.* (2006) observaram resultados obtidos a partir da análise de dados comportamentais e registros de potenciais cerebrais relacionados a eventos (ERPs) em crianças de 8 anos. O objetivo dos autores foi testar a hipótese de que o treinamento musical pode facilitar o processamento do tom na música e na linguagem. Para isso, foi usada uma manipulação paramétrica do tom, fazendo com que as notas ou palavras finais de frases linguísticas e musicais fossem congruentes, incongruentes ou muito incongruentes. Os resultados mostraram que as crianças com estudo musical conseguiam detectar incongruências na música e na linguagem melhor do que crianças sem estudo musical. Outro detalhe interessante desse estudo é que alguns aspectos do processamento do tom ocorrem mais cedo na música do que na linguagem. Assim sendo, o estudo pode sugerir efeitos positivos de transferência entre domínios cognitivos.

Em relação aos transtornos do neurodesenvolvimento, Muszkat (2019) relata que crianças com TEA (Transtorno do Espectro Autista) que tiveram terapia com música apresentaram minimização dos rituais motores, maior facilitação com a atenção seletiva e o comportamento exploratório. No TDAH (Transtorno do Déficit de Atenção/Hiperatividade), algumas pesquisas mostram redução da impulsividade e a melhora na motorização de tarefas motoras, principalmente em crianças com disfunções executivas. Na epilepsia, estudos propõem que a audição de certas músicas pode diminuir a frequência de descargas epileptiformes. Em crianças com transtorno de aprendizagem da leitura/escrita, a audição musical pode estimular e ativar áreas associativas de linguagem. Ademais, devido à capacidade conectiva da música com conteúdos familiares, a prática e a escuta musical podem proporcionar experiências emocionais que podem ser um potencial na abordagem de indivíduos que têm TEA, depressão ou esquizofrenia (Muszkat, Correia e Campos, 2002).

Thompson *et al.* (2004) relatam que os benefícios aparentes de ouvir música decorrem das alterações de humor e excitação induzidas pelas condições do teste; ou seja, a exposição a músicas com diferentes ritmos (acelerados/lentos) ou tonalidades (maior/menor) pode induzir e modular o estado emocional. Em indivíduos com declínio cognitivo, algumas teorias sugerem que a música facilita a ativação de redes neurais associadas à memória autobiográfica episódica, como ocorre em pessoas com demência, uma vez que a música pode evocar emoções e remeter a lembranças passadas (Muszkat, 2019).

Algumas hipóteses (apresentadas na subdivisão 7) assumem que crianças com problemas de linguagem ou leitura, como dislexia, TDL, entre outros, possuem um déficit de processamento temporal. Tal insuficiência prejudica o processamento de duração na fala, o que é essencial para a percepção rítmica e prosódica, além da representação fonológica (Swaminathan e Schellenberg, 2020). Todavia, comparações de ritmo com melodia não fornecem testes adequados para verificar a hipótese de que o ritmo tem essa ligação com a linguagem. Outros aspectos da habilidade musical podem ser igualmente importantes.

Em síntese, o treinamento musical tem se mostrado capaz de favorecer habilidades cognitivas e linguísticas, como percepção de tom, memória e atenção. Ademais, pode beneficiar indivíduos com desenvolvimento linguístico atípico. No entanto, esse efeito de transferência é ainda alvo de debate. Um dos argumentos sobre o efeito de transferência é a proximidade de regiões cerebrais envolvidas na música e no processamento espacial, o que poderia provocar um possível efeito de transferência (Leng e Shaw, 1991; Foxton *et al.*, 2003). A seguir, será abordado o modo como a música (a escuta ativa e o treinamento musical) pode ser benéfica em diversos aspectos da linguagem. Estudos serão apresentados, dialogando com previsões positivas acerca de uma possível influência da música no desenvolvimento linguístico típico e atípico.

## 5. Habilidades Musicais e Habilidades Linguísticas

Aprender a tocar um instrumento musical é uma tarefa cognitivamente exigente, sendo uma atividade que exige a realização simultânea de diversas ações, como ler a partitura, controlar a pulsação do tempo e a execução motora (Herholz et al., 2012; Hanna-Pladdy et al., 2011). Ademais, a prática prolongada na infância e adolescência pode influenciar a cognição por meio das funções executivas, um conjunto de habilidades cognitivas responsáveis pelo controle de processos mentais, como atenção, memória de trabalho e controle inibitório (Diamond, 2013). Dentre esses processos da função executiva, a prática musical geralmente envolve procedimentos de planejamento, memória, sincronização (no caso de acompanhamento) e comportamentos expressivos. Um fenômeno cognitivamente interessante na prática musical é a capacidade de “atualização” dos músicos, que conseguem ler simultaneamente a partitura musical, suas notas e valores de tempo, além de antecipar os movimentos dos dedos para tocar os padrões melódicos corretos.

Estudiosos argumentam que o raciocínio poderia ser beneficiamente afetado por meio do aprimoramento do treinamento musical, uma vez que a notação musical em si é espacial e os tons são indicados por sua posição em uma série de linhas e espaços (Hetland, 2000; Rauscher e Zupan, 2000). Contudo, as evidências de que o treinamento musical causa melhorias nas habilidades de linguagem vêm com uma quantidade excessiva de atrito (Slater et al., 2015). Diversos artigos, capítulos de livros e pesquisas foram analisados na busca de compreender a possível (ou não) contribuição da música para a cognição humana por meio de práticas instrumentais, melódicas e rítmicas.

Segundo Muszkat (2019), o processamento musical envolve diversas áreas cerebrais relacionadas às funções perceptivo-motoras e executivas. A decodificação métrica, de timbres, ritmos, percepção de alturas e a experiência emocional provocam diversos estímulos no cérebro, como programar os movimentos na execução instrumental, leitura e distinções entre sons e timbres. Diante das diversas possibilidades de ligações entre domínios musicais e não musicais, duas principais linhas de investigação foram desenvolvidas: a que diz respeito aos benefícios de curto prazo em domínios não musicais, decorrentes da audição passiva de música; e a linha de investigação dos efeitos a longo prazo da formação formal em música (Thompson, Schellenberg e Husain, 2004).

O treinamento musical demanda uma série de habilidades multimodais e várias funções cognitivas, como a memória e a atenção, efetuadas simultaneamente. Esse enorme esforço cognitivo pode favorecer o aumento da conectividade sináptica entre

neurônios, como no corpo caloso, no cerebelo e no córtex motor (Muszkat, 2019). Também pode favorecer a ativação dos neurônios espelho<sup>12</sup>, localizados em áreas frontais e parietais do cérebro, essenciais para as funções de empatia e compreensão de ambiguidades na linguagem verbal e não-verbal (Muszkat, 2019). Por isso, o estudo da música pode, em princípio, ser significativo para o desenvolvimento cognitivo de crianças com transtornos, dificuldades e disfunções do neurodesenvolvimento.

Contudo, contrariamente às hipóteses de transferência, há pesquisas que sugerem que a associação entre treinamento musical constante e habilidades de linguagem é decorrente principalmente de predisposições biológicas (Schellenberg, 2015; Olszewska *et al.*, 2021). Nesse caso, as ligações entre música e linguagem parecem surgir principalmente de fatores pré-existentes e não a partir de um treinamento ativo em música (Swaminathan e Schellenberg, 2020).

Schellenberg (2015) argumenta que as associações positivas nas habilidades de linguagem de pessoas não musicais após treinamento musical devem ser consequência dos genes e da interação do ambiente, visto que crianças abertas à experiência e de famílias com alto nível socioeconômico têm uma maior probabilidade de frequentar aulas de música e de ter acesso à prática de um instrumento musical, do que outras crianças em condições mais precárias, exacerbando, assim, diferenças preexistentes. Outro ponto apresentado pelo autor é que as evidências do treinamento musical são escassas e fracas. Mesmo que concorde que é possível que as aulas de música tornem um ouvinte melhor e possam melhorar alguns aspectos da fala, ainda assim, considera que isso não descarta a possibilidade de uma maior influência genética, associada a uma aptidão musical (um potencial natural).

Schellenberg (2015) destaca como o treinamento musical não deve ser visto como um bom modelo de plasticidade, principalmente por conta da questão de certas predisposições auditivas, cognitivas, socioeconômicas e motivacionais. Qualquer correlação que possa vir a acontecer entre música e linguagem (o autor diz que é possível existir essa correlação) não necessariamente é causal, sendo que os estudos que enfatizam uma correlação encontram efeitos limitados.

A favor da prática musical ter um efeito benéfico sobre o desenvolvimento linguístico, destacam-se alguns estudos (Gardiner *et al.*, 1996; Overy, 2003; Schlaug *et al.*, 2005; Magne *et al.*, 2006; Patel e Iversen, 2007; Wong *et al.*, 2007; Moreno *et al.*,

---

<sup>12</sup> Neurônios-espelho são células cerebrais ativadas ao executar ou observar ações, essenciais para aprendizagem por observação, compreensão de intenções e desenvolvimento de habilidades motoras e sociais.

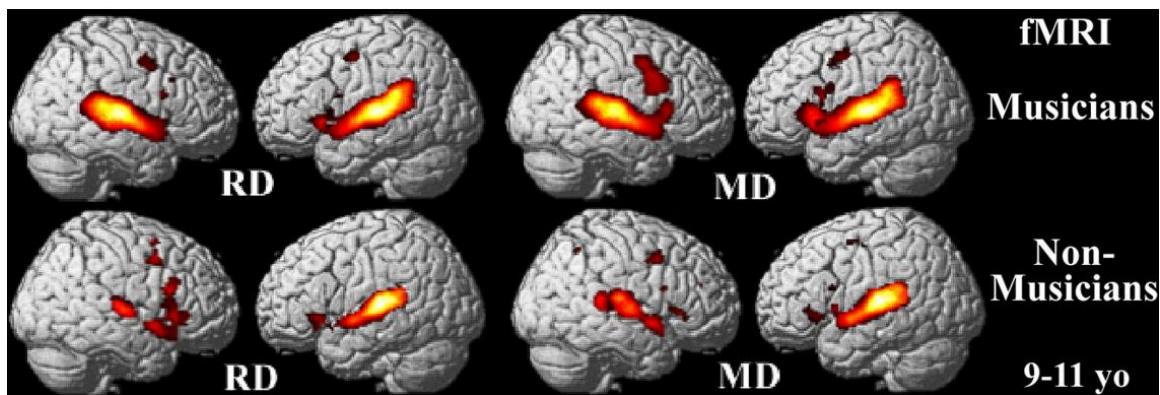
2008; Marin, 2009; Milovanov e Tervaniemi, 2011; Tierney *et al.*, 2015; Linnavalli, *et al.*, 2018; Swaminathan e Schellenberg, 2020; Canette *et al.*, 2020). Esses autores sugerem que quanto mais precoce são iniciadas as aulas musicais e quanto mais tempo exposto de forma contínua, melhor seria esse efeito benéfico. Cada um desses estudos será apresentado a seguir.

Gardiner *et al.* (1996) mostraram que crianças de 5 a 7 anos que tiveram treinamento artístico (música e pintura) durante 7 meses tiveram um melhor desempenho do que os controles em matemática, mas não em leitura. Entretanto, a pesquisa encontrou dificuldade em separar os efeitos específicos proporcionados, seja pelo treinamento de pintura ou de música. Portanto, observa-se que diversos estudos chegaram a diferentes resultados quanto aos benefícios do treinamento musical, mas a maioria, no geral, avaliou positivamente a influência do treinamento musical.

Schlaug *et al.* (2005), no primeiro estudo, perceberam que adultos músicos tinham significativamente mais volume de massa cinzenta em diversas regiões do cérebro e uma maior ativação no giro temporal superior do que adultos controles, sem prática musical. No segundo estudo dos autores, uma pesquisa longitudinal investigou o impacto do treinamento musical no desenvolvimento cognitivo de 50 crianças pequenas (5 a 7 anos de idade), sendo formados dois grupos, aqueles que receberam aulas de música e aqueles que não receberam ( $n = 25$ ). As crianças realizaram Ressonância Magnética e as imagens foram contrastadas, revelando que as crianças instrumentistas tiveram mais volume de massa cinzenta comparadas aos controles. Outro resultado foi que os instrumentistas tiveram resultados melhores em testes de habilidades motoras finas e discriminação auditiva.

No terceiro estudo de Schlaug *et al.* (2005), um estudo transversal envolvendo crianças de 9 a 11 anos de idade, foi investigada a anatomia cerebral por meio de Ressonância Magnética. Crianças com experiência musical foram comparadas com crianças sem experiência musical. Os resultados mostraram, novamente, que os instrumentistas tinham maior volume de substância cinzenta quando comparados aos não-músicos. Além disso, o grupo musical também apresentou maior substância cinzenta no córtex sensório-motor e no lobo occipital bilateralmente. A seguir, são apresentadas as imagens sobrepostas extraídas do estudo. São as representações superficiais de cérebros anatômicos padronizados que retratam ativações de grupos significativos durante tarefas de discriminação rítmica (RD) e discriminação melódica (MD) em crianças com e sem treinamento de música instrumental.

**FIGURA 6** – Estatísticas Paramétricas de Schlaug *et al.* (2005)



Fonte: Artigo de Schlaug *et al* (2005).

A prática de música pode, assim, ter um efeito modulador na organização linguística do cérebro (Milovanov e Tervaniemi, 2011), uma vez que os relatos da audição da música indicam a contribuição em áreas fronto-temporais e temporais nos hemisférios direito e esquerdo, na compreensão e na produção da linguagem (Milovanov e Tervaniemi, 2011).

Quando comparados os resultados de músicos e não músicos adultos, foram encontradas diferenças nas áreas auditivas, motoras, somatossensoriais e visuoespaciais no nível cortical. Outras evidências indicam que as habilidades rítmicas, em particular, estão ligadas às habilidades de linguagem muito mais do que às habilidades melódicas. Por isso, a habilidade musical rítmica pode ser um preditor importante e significativo nas habilidades de linguagem (Swaminathan e Schellenberg, 2020; Overy, 2003).

Uma interessante evidência sobre o treinamento rítmico trazer melhorias na linguagem vem de uma intervenção na qual foi fornecido treinamento rítmico para crianças italianas de 8 a 11 com dislexia<sup>13</sup>. Constata-se que o mau desempenho em tarefas que requerem processamento temporal, percepção de ritmo e sincronização sensório-motora parece ser um fator crucial subjacente à dislexia em crianças. As crianças com dislexia apresentam problemas no processamento temporal, tanto na linguagem como na música. O estudo revelou que o treinamento musical melhorou o desempenho em testes de consciência fonológica e habilidade inicial de leitura (FLAUGNACCO *et al.*, 2015).

O estudo e a discriminação de ritmo predizem, segundo evidências, a percepção de estresse na fala entre adultos finlandeses (HAUSEN *et al.*, 2013) e de aprendizagem

<sup>13</sup> Dislexia é um transtorno do neurodesenvolvimento caracterizado pelo reconhecimento impreciso de palavras e tem sido relatada em todas as culturas estudadas. Evidências crescentes chamam a atenção para a similaridade interlingüística em suas bases neurobiológicas e neurocognitivas, por exemplo, a dislexia é caracterizada pela disfunção da rede normal da linguagem do hemisfério esquerdo e implica desenvolvimento anormal da substância branca (Peterson e Pennington, 2012).

de línguas estrangeiras entre adultos franceses (Bhatara *et al.*, 2015). Entretanto, um estudo de intervenção com crianças de 4 a 6 anos que tiveram treinamento musical (com ritmo) não trouxe evidências de que estas tiveram consciência fonológica melhorada (Goswami, 2011). Anvari *et al.* (2002) encontraram resultados inconscientes nas tarefas rítmicas, pois nas crianças de 4 anos, a produção e discriminação rítmica correlacionaram com as tarefas de leitura, mas nas crianças de 5 anos, as tarefas de ritmo e leitura não se correlacionaram.

Tierney *et al.* (2015) investigaram os efeitos do treinamento musical no ensino escolar, diante da hipótese de que o enriquecimento auditivo se relaciona e interage com os processos auditivos que ainda estão em desenvolvimento durante a adolescência. Nesse estudo longitudinal que durou três anos, dois grupos de alunos foram formados, o primeiro ( $n = 19$ ) teve treinamento musical teórico e instrumental, sendo que este grupo teve como alvo a função auditiva. O segundo grupo ( $n = 21$ ), o controle, foi formado por jovens que receberam três horas semanais de treinamento de exercícios físicos, incluindo marcha sincronizada e desempenho em competições esportivas.

Ainda no estudo de Tierney *et al.* (2015), todos os adolescentes foram testados antes e depois da intervenção, envolvendo atividades de habilidade linguística (como memória fonológica, consciência fonológica e nomeação rápida), em respostas neurais e habilidades sonoras. O objetivo era entender se a música na escola poderia gerar benefícios para as habilidades de alfabetização. Os resultados indicaram que, embora a consciência fonológica tenha melhorado tanto no grupo de treinamento musical quanto no grupo de práticas físicas, ocorreu mais aprimoramento no grupo de treinamento musical. O grupo musical também teve um desempenho melhor nas tarefas de linguagem e interpretação de texto. Porém, nos testes de memória fonológica e nomeação rápida, não houve diferença significativa entre ambos os grupos. Quanto à consistência neural, o grupo de treinamento musical exibiu o surgimento precoce da resposta cortical adulta, sugerindo que a música pode acelerar o neurodesenvolvimento. Esses achados mostram que o treinamento formal musical pode prolongar a estabilidade do processamento do som subcortical e acelerar a maturação das respostas auditivas corticais, o que significa que pode melhorar o processamento neural do som e desencadear benefícios para habilidades linguísticas.

Marin (2009) argumenta que o treinamento musical em crianças é possivelmente associado com habilidades de pronúncia e prosódicas, consciência fonológica, leitura, habilidades matemáticas e com questões de QI geral. Marin (2009) utilizou um paradigma de *priming* harmônico com crianças de 4 a 5 anos de idade para analisar o treinamento

musical. A prática musical influenciou a tarefa e a precisão de identificar timbres, e as crianças mostraram habilidades de linguagem aprimoradas. As habilidades linguísticas dos participantes (31 crianças alemãs) foram avaliadas usando o SETK 3–5 de Grimm<sup>14</sup>. O paradigma de *priming* harmônico aplicado era respectivamente às condições de *priming* e não *priming* em três acordes<sup>15</sup>. Os *primes* eram dois acordes (tons de Shepard), seguindo uma progressão IV–V (*priming*) ou bVI–bIII<sup>16</sup> (sem *priming*), tendo como alvo a tônica. Assim, era um acorde de três notas em posição tônica, tocado em timbre de piano ou trompete (tarefa de identificação de timbre) e as variáveis dependentes foram tempo de resposta e precisão. Das 36 tentativas, 12 tons de Shepard\* foram tocados para evitar efeitos de transferência.

Marin (2009) observou que o treinamento musical foi significativamente associado ao melhor desempenho nos subtestes de formação de regras morfológicas e de memória para palavras. Constatou-se melhor desempenho na memória de trabalho fonológica e na memória de sentença, mas não no subteste de compreensão de sentença. Assim, segundo o resultado, o treinamento musical e a experiência musical precoce melhoraram o desenvolvimento cortical auditivo (Marin, 2009).

Outras vias de estudo focam no processamento de *pitch*, que é um aspecto bastante estruturado da música e é usado para transmitir informações linguísticas (Patel e Iversen, 2007). A música e a fala, por serem fenômenos auditivos que exigem muito da cognição, geralmente são atribuídas a circuitos corticais em vez de subcorticais. Tendo em vista que quase todas as línguas usam *pitch* para transmitir prosódias e que grande parte delas usam o tom para fazer distinções lexicais entre palavras, o estudo de Wong *et al* (2007) analisou especificamente as “línguas tonais”, como o mandarim, nas quais, tom é uma propriedade distintiva (uma mesma sequência de fonemas pode codificar diferentes significados em função de uma alteração de tom; Patel e Iversen, 2007).

A pesquisa de Wong *et al.* (2007) sugere que a experiência musical pode sintonizar os circuitos básicos de processamento sensorial auditivo no cérebro, o que tem consequências para o processamento da linguagem (*apud* Patel e Iversen, 2007). O estudo

<sup>14</sup> SETK (*Sprachentwicklungs test für drei- bis fünfjährige Kinder*) é uma bateria de testes linguísticos padronizados para crianças entre 3 e 5 anos de idade, desenvolvida por Grimm e colaboradores. É usado para avaliar a compreensão e produção linguística, vocabulário, sintaxe e morfologia.

<sup>15</sup> Na música ocidental, certas sequências de acordes geram expectativas auditivas por meio de relações de tensão e resolução harmônica. A progressão IV (subdominante) –V (dominante) –I (tônica) é um exemplo dessa dinâmica.

<sup>16</sup> Neste estudo, uma sequência de bVI–bIII não gera uma tensão seguida de resolução, diferentemente do IV–V usado no *priming*. Gera uma ambiguidade harmônica devido à quebra de expectativas tonais, principalmente por não atender a uma resolução esperada, que seria dentro da tonalidade.

utilizou o eletroencefalograma (EEG) em músicos e não-músicos para examinar o processamento subcortical de tons lexicais, focando no processamento do tom, no mandarim. O foco do estudo foi uma resposta neural oscilatória ao som (frequência seguinte - FFR) que, segundo teorias, é gerada no colículo inferior do tronco cerebral, pois a FFR se relaciona com o tom da voz. Isso ocorre devido à oscilação da FFR conseguir rastrear algumas mudanças de frequência fundamental ( $F0^*$ )<sup>17</sup> linguisticamente relevantes e conter uma energia considerável na  $F0$  da voz (Patel e Iversen, 2007). Wong e colaboradores, ao examinarem a codificação do tronco cerebral do tom (*pitch*) linguístico, concluíram que os músicos apresentam uma maior capacidade de codificação em comparação aos não-músicos (Wong *et al.*, 2007).

Os autores perceberam que a qualidade de  $F0$  era maior em músicos e encontraram correlações positivas entre a qualidade do rastreamento de  $F0$  e a quantidade de treinamento musical e o desempenho no reconhecimento (identificação e discriminação) de sílabas em mandarim. A pesquisa fornece evidências compatíveis com a hipótese de que a experiência musical aguça a codificação sensorial dos padrões de altura em um estágio inicial do processamento cerebral (Patel e Iversen, 2007). Isso sugere que a experiência auditiva linguística poderia sintonizar o mecanismo de processamento de som subcortical. Portanto, a experiência musical pode influenciar o processamento da fala em um nível subcortical (Wong *et al.*, 2007).

Moreno *et al.* (2008) realizaram um estudo longitudinal com 32 crianças falantes de português europeu, não estudantes de música, durante nove meses para determinar se o treinamento musical melhora as funções neurais não-musicais (leitura, processamento de *pitch* linguístico). Assim, crianças de 8 anos com a audição normal realizaram tarefas para testar a hipótese de que o treinamento musical melhora o processamento de *pitch* na fala. Ao todo, foram seis meses de treinamento musical. Na avaliação das habilidades de leitura, foram usadas 48 palavras divididas em três grupos conforme a complexidade das relações grafema-fonema. Primeiro grupo, com palavras simples e consistentes (como “bota”, em que há correspondência grafema-fonema); segundo grupo, com palavras complexas e previsíveis (ex. “milho”) e terceiro, com palavras complexas e inconsistentes (como em “nexo”, cuja pronúncia não pode ser derivada por regras). O desempenho na tarefa de leitura foi medido pela porcentagem de erros, sendo analisado o tipo de palavra.

---

<sup>17</sup> A frequência fundamental é um conceito da acústica e da fonética que se refere à frequência mais baixa de uma onda sonora periódica. É o “tom base” de um som, que determina a altura percebida da voz ou de um instrumento musical.

Os resultados deste estudo de Moreno *et al.* (2008) indicaram uma correlação positiva entre o treinamento musical, a fala e as habilidades de leitura, ao mostrar que as crianças cometeram menos erros gerais em palavras simples e consistentes depois do treinamento do que em relação às palavras inconsistentes (Moreno *et al.*, 2008). A conclusão de Moreno *et al.* (2008) vai de acordo com outras conclusões, como a de Anvari *et al.* (2002), que estudaram crianças de 4 a 5 anos, propondo relações entre consciência fonológica, habilidades de percepção musical e habilidades iniciais de leitura. Observou-se que a habilidade de percepção musical foi preditiva das habilidades de leitura.

A metanálise conduzida por Bultzlaaff (2000) revelou possíveis correlações entre treinamento musical e habilidades de leitura. Além disso, o treinamento musical também demonstrou influenciar habilidades espaço-temporais (Costa-Gomi, 1999; Hetland, 2000), prosódia da fala (Thompson *et al.*, 2004), memória verbal (Chan *et al.*, 1998; Ho *et al.*, 2003), proficiência fonológica de segunda língua (Slevc e Miyake, 2006) e inteligência geral (Schellenberg, 2004; Moreno *et al.*, 2008). Por outro lado, a metanálise publicada por Vaughn (2000) indicou que os efeitos do treinamento musical na matemática foram poucos e fracos.

Pesquisas também têm se concentrado em tons lexicais, trazendo relevância para estudos que propõem uma ligação entre treinamento musical e habilidades prosódicas relacionadas ao tom (Wong *et al.*, 2007; Magne *et al.*, 2006). De acordo com Patel e Iversen (2007), crianças francesas, após terem treinamento musical, apresentaram uma maior sensibilidade a variações sutis de tom nos contornos da entonação, refletida nas medidas comportamentais e potenciais evocados corticais. Já adultos e crianças falantes de inglês, treinados musicalmente, tiveram vantagens em identificar o tom emocional de frases a partir de pistas prosódicas na língua materna e em línguas estrangeiras desconhecidas. Essas descobertas são compatíveis com a ideia de que a experiência musical pode beneficiar a percepção prosódica em consequência de uma codificação mais precisa dos padrões de altura nos centros subcorticais.

Alguns autores apoiam a ideia de que existem mecanismos potencialmente compartilhados entre a música e o processamento semântico, como no caso de Forgeard e colaboradores (2008), que concluíram que o treinamento musical formal pode prever o desempenho das crianças em um teste de vocabulário. Tal estudo investigou diversas possíveis associações linguísticas e não linguísticas com o treinamento musical. Para isso, analisaram cinquenta e nove crianças (idade média de nove anos), sendo quarenta e uma dessas crianças que formaram o grupo instrumental por terem estudado, no mínimo, três anos de treinamento em instrumento musical. Todos os participantes foram igualados

quanto à inteligência geral e situação socioeconômica. O grupo instrumental foi dividido em dois subgrupos: 21 crianças no grupo instrumental receberam instrução instrumental tradicional (ensino de notação musical desde o início) e 20 crianças restantes no grupo instrumental receberam instrução Suzuki (ensino que preza tocar de ouvido primeiramente; a notação musical é introduzida mais tarde). 18 crianças formaram o grupo sem treinamento instrumental musical (controles). Todas essas crianças, de ambos os grupos, tiveram aulas gerais de música na escola, sem ter prática musical instrumental ou instrução musical individual.

Forgeard e colaboradores (2008) avaliaram todos os participantes por meio de testes de habilidades verbais e de raciocínio não verbal. Algumas das principais tarefas realizadas foram as de habilidades de discriminação auditiva e habilidades motoras finas, respectivas à bateria relacionada à música e referentes à linguagem, a habilidade de vocabulário e raciocínio não-verbal, além de testes como design de blocos, montagem de objetos, entre outros. Os resultados indicaram que o grupo instrumental superou o grupo controle em duas tarefas diretamente relacionadas à música (discriminação auditiva e habilidades motoras) e em duas tarefas distanamente relacionadas à música (a habilidade de vocabulário e raciocínio não-verbal, incluindo resolução de problemas e percepção espacial). O estudo não mostrou impacto significativo do treinamento musical em habilidades motoras e não houve uma melhoria equivalente nas tarefas de memória de trabalho. Então, esses resultados sugerem que a prática musical pode ter um impacto mais focado em determinadas áreas cognitivas (Forgeard *et al.* 2008).

Dez anos depois, Linnavalli, Putkinen, Lipsanen, Huotilainen e Tervaniemi (2018) observaram resultados parecidos. Neste estudo longitudinal de dois anos, crianças de 5 a 6 anos de idade ( $N = 66$ ) foram separadas em dois grupos, um de treinamento musical e o outro, controle, de aulas de dança. Todas as crianças, durante esse período, foram testadas quatro vezes com subtestes de processamento de fonemas, de vocabulário, design de blocos, subtestes de inteligência para crianças, controle inibitório, entre outros. O treinamento musical demonstrou ser mais eficaz e as crianças tiveram suas habilidades de vocabulário significativamente melhoradas quando comparadas com o grupo controle (aulas de dança). Além disso, observou-se melhoria no processamento de fonemas; entretanto, não foram identificados avanços significativos no raciocínio não verbal e na inibição. Os autores ressaltam que as diferenças no desenvolvimento das crianças tornaram-se evidentes ao longo do acompanhamento de dois anos.

Estudos com adultos usando *priming* mostraram que escutar música pode ativar conceitos semânticos, em outras palavras, uma peça musical (*prime*) pode afetar

beneficamente o processamento semântico de uma palavra apresentada posteriormente, que foi manipulada (diante da hipótese de que a música pode transmitir significado) para ser relacionada ou não ao *prime*. Assim, duas classes principais de significado foram descritas como emergentes na música, a primeira com o significado extramusical (elementos fora da música, como conceitos, ideias, estados psicológicos) e significado intramusical – relação entre elementos musicais (Koelsch, 2011; Patel, 2008; Canette *et al.*, 2020).

Há poucos estudos que relacionam as habilidades musicais e linguísticas dentro do contexto do português brasileiro. Dungs (2024) e Nascimento (2024) conduziram pesquisas experimentais que exploraram diferentes aspectos da música, investigando se há correlação com o desenvolvimento de habilidades linguísticas. Esses trabalhos contribuem de maneira significativa para preencher uma lacuna na literatura nacional.

Dungs (2024) realizou uma pesquisa experimental que investigou a relação entre habilidades musicais e habilidades de consciência fonológica em crianças de 7 a 10 anos de uma escola pública em Nova Friburgo (RJ). Tal como sugerem pesquisas internacionais, como principais objetivos, o estudo buscou verificar a existência de correlação entre habilidades musicais e consciência fonológica e compreender quais aspectos musicais se relacionam mais com a consciência fonológica. Além disso, foi investigada a relação entre os diferentes tipos de habilidades cognitivas avaliadas (percepção melódica, ritmo, memória auditiva), discutindo o papel da música no processo de alfabetização em transtornos de leitura. Participaram 29 crianças do 2º ao 4º ano escolar, todas realizaram tarefas fonológicas (repetição de palavras/pseudopalavras, testes de consciência silábica e fonêmica), tarefas musicais (melodia, ritmo) e um teste de execução musical vocal (percepção e execução rítmica e melódica). Os resultados encontrados foram uma correlação positiva, mas não significativa entre consciência fonológica e percepção musical. No subgrupo de crianças com dificuldade de alfabetização, as correlações foram significativas (percepção e execução musical). Também foi encontrado um efeito positivo da prática musical sobre a consciência fonológica, particularmente no nível fonêmico, e a percepção melódica mostrou-se mais relacionada à consciência fonológica do que a outros aspectos musicais.

Nascimento (2024) investigou as relações entre habilidades musicais e linguísticas, tendo como objetivos principais: i) compreender se uma exposição curta à música instrumental pode influenciar o desempenho cognitivo de adultos; ii) comparar o impacto de diferentes condições experimentais (escuta ativa, escuta passiva e atividade não musical) sobre a compreensão de leitura; iii) examinar se os efeitos ocorrem de forma

imediata, sem necessidade de um treinamento musical prolongado. Ao todo, participaram 105 adultos (idade média de 25,8 anos), com ensino médio completo e sem formação musical formal. Os participantes foram divididos em grupos com diferentes atividades prévias (escuta ativa de música, escuta passiva, atividade não musical e grupo controle). Após a exposição (menos de 10 minutos), todos realizaram uma tarefa de compreensão de leitura. Os resultados encontrados foram que a exposição à escuta ativa teve um efeito positivo sobre o desempenho em leitura, diante de uma melhora na recuperação de informações e na realização de inferências. Não ocorreu melhora significativa na compreensão global do texto, mas sim em aspectos específicos de maior demanda cognitiva. O grupo controle (sem atividade prévia) apresentou o pior desempenho geral.

Conclui-se a subseção destacando que pesquisas em crianças, tanto típicas quanto atípicas, demonstram que o treinamento musical pode trazer benefícios ao vocabulário, raciocínio não-verbal, percepção espacial, consciência fonológica, processamento de fonema e memória de trabalho. Em adultos, estudos com *priming* sugerem que a música pode ativar conceitos semânticos, e a exposição à música pode trazer benefícios nas habilidades de leitura.

## 5.1 Discussões sobre o treinamento musical

Diversos autores argumentam que os efeitos musicais na linguagem podem não demonstrar ser, exatamente, benefícios da prática musical. McKay (2021) examinou a literatura tentando avaliar se o treinamento musical pode ter efeito benéfico na percepção da fala em populações com deficiência auditiva, diante da hipótese de que os benefícios dos músicos nas habilidades auditivas (como discriminação de altura) advêm do treinamento musical e não de habilidades inatas. Ao todo, dos 13 estudos longitudinais que investigaram se o treinamento musical tem um efeito causal na habilidade de percepção de fala com ouvintes com deficiência auditiva, apenas 4 mostraram uma relação causal de forma válida, sendo que nesses quatro constatou-se melhora para a percepção da fala após o treinamento musical. O restante, por mais que tenha sido alegada melhora, não trouxe evidências válidas de que foi o treinamento musical ou qualquer outro aspecto da música que trouxe benefícios na percepção da fala.

McKay (2021) avaliou os estudos<sup>18</sup> em função do número de controles adequado, da randomização dos participantes, dos testes estatísticos e do tamanho da amostra. Segundo este estudo, quatro artigos não tinham o grupo controle, outros não tiveram randomização e controles passivos. Alguns estudos não tiveram o grupo controle adequado, enquanto em outros a amostragem foi muito pequena. Por fim, havia estudos com análises estatísticas incorretas. Um detalhe também importante apresentado por McKay (2021) é o argumento de que exemplos de transferência de treinamento são extremamente raros na literatura de psicologia, havendo, portanto, muitas dúvidas quanto a isso ser possível.

Mehr *et al.* (2013) investigaram, em crianças pré-escolares, os efeitos da prática musical nas habilidades cognitivas específicas. A principal motivação dos autores em realizar este estudo, após observar alguns estudos da literatura, foi questionar se os resultados do efeito do treinamento musical na inteligência geral poderiam ser um parâmetro essencial para esta discussão, sentindo falta de uma pesquisa focada em aspectos cognitivos mais específicos. Além disso, outro motivador foi o fato de a literatura atual não fornecer uma resposta definitiva sobre os efeitos cognitivos não musicais do treinamento musical.

Assim, os autores realizaram dois experimentos para investigar a relação entre treinamento musical e cognição. No primeiro, as crianças que receberam aulas de música foram comparadas com crianças que receberam a instrução artística de artes visuais. No segundo experimento, o grupo que recebeu aulas de música foi comparado com um grupo (controle) sem intervenção. No primeiro experimento, 29 crianças de quatro anos foram direcionadas a aulas de música ( $N=15$ ) ou artes ( $N=14$ ), todas controladas por idade, renda familiar, vocabulário receptivo. Em ambos os grupos, os pais estavam presentes participando, seja cantando canções de ninar para seus filhos ou trabalhando com eles em projetos de artesanato. Os testes foram aplicados antes da intervenção e após seis semanas de aula, sendo medidos o desempenho em dois domínios de raciocínio espacial (*map-based navigation* e análise de formas visuais); a discriminação numérica e o vocabulário receptivo. No segundo experimento, foram medidas as habilidades cognitivas do experimento 1. Ao todo, 45 crianças participaram. O grupo de música ( $N=23$ ), dessa vez, foi comparado com um grupo controle ( $N=22$ ).

Os resultados de Mehr *et al.* (2013), no Experimento 1, forneceram evidências sugestivas de efeitos nas habilidades espaciais. As crianças do grupo musical

---

<sup>18</sup> Os 13 artigos não foram abordados para não desviar muito da ênfase desta dissertação. No caso de haver interesse em cada uma destas pesquisas, recomenda-se acessar a bibliografia de McKay (2021).

demonstraram ter maior efeito na capacidade de usar um mapa geométrico abstrato para navegar em um *layout* tridimensional do que as que tiveram aulas de artes (navegação espacial), enquanto as crianças de artes demonstraram maior capacidade de analisar as propriedades geométricas de formas visuais bidimensionais em comparação com as crianças da aula de música (formas visuais). Entretanto, os autores ressaltam que essa descoberta tem ressalvas, pois ambas as diferenças de desempenho foram estatisticamente fracas. Ademais, esses dados, obtidos pelos grupos que tiveram intervenção, não foram comparados com um grupo controle.

No Experimento 2, os resultados não mostraram efeitos significativos entre os grupos em nenhuma das avaliações cognitivas. Os autores realizaram uma análise fatorial com os três grupos, de música ( $n = 38$ ), o grupo de artes visuais ( $n = 14$ ) e o controle sem tratamento ( $n = 22$ ). Concluíram que não há evidências consistentes de transferência cognitiva por meio do treinamento musical, sugerindo que a educação musical em crianças pré-escolares aparenta não aumentar as habilidades espaciais, linguísticas ou numéricas (Mehr *et al.*, 2013).

Um estudo que analisou a possível “vantagem” neural na linguagem acarretada pelo treinamento musical é o de Mankel e Bidelman (2018). Eles questionaram se habilidades auditivas inatas podem explicar os aprimoramentos neurais no processamento da fala, frequentemente atribuídos à formação musical formal, mantendo-se dentro do debate *nature vs. nurture*<sup>19</sup> entre música e cérebro. Diante de diversos estudos que observaram um melhor desempenho no processamento da fala por parte de músicos treinados, os autores investigaram se diferenças pré-existentes nas habilidades auditivas poderiam ser responsáveis por esses efeitos. Destaca-se que este estudo não teve como objetivo dissociar possíveis conexões entre treinamento musical e benefícios na função linguística cerebral, mas entender a possibilidade de que as habilidades auditivas pré-existentes possam mediar tais aprimoramentos no processamento da fala.

Para isso, Mankel e Bidelman (2018) analisaram indivíduos sem treinamento musical formal, que têm habilidades auditivas naturalmente mais desenvolvidas (chamados no estudo de *musical sleepers*). As habilidades foram medidas por meio do PROMS - *Profile of Music Perception Skills*. Essas pessoas com alta musicalidade foram comparadas com músicos treinados (mínimo de 3 anos), que tinham baixa musicalidade, totalizando 28 participantes. Foi registrada a atividade neuroelétrica cerebral em resposta a sons de fala claros e degradados (EEG, eletroencefalografia; FFR, *Frequency-*

---

<sup>19</sup> Uma reflexão sobre o que mais influencia o comportamento e as habilidades, sendo a distinção entre efeitos inatos e efeitos dependentes da experiência que só é possível por meio do treinamento.

*Following Response; ERP, Event-Related Potential; neural noise).* Os resultados indicaram que o grupo composto por indivíduos com alta habilidade auditiva inata apresentou respostas FFR à fala mais robustas e rápidas, demonstrou maior resiliência aos efeitos adversos do ruído e apresentou melhor codificação do *pitch* (F0) e do timbre (harmônicos). Não foram observadas diferenças significativas nos ERPs entre os dois grupos.

Estes achados de Mankel e Bidelman (2018) sugerem que a neuroplasticidade auditiva associada ao envolvimento com a música provavelmente é função de uma combinação de fatores pré-existentes (natureza), visto que os indivíduos com habilidades auditivas naturalmente maiores, mesmo sem treinamento musical, podem apresentar um perfil neurofisiológico em níveis subcorticais (FFR) semelhante ao de músicos treinados. Outra observação é que a formação musical formal fornece um incremento adicional a essas capacidades inatas, estimulando ainda mais a robustez no processamento neural da fala.

Neves *et al.* (2022) realizaram uma revisão sistemática e meta-análise questionando se o treinamento musical realmente melhora o processamento auditivo e linguístico, analisando evidências comportamentais (44 estudos) e cerebrais, neurobiológicas (27 estudos). Foram avaliados mais de sessenta estudos longitudinais (participantes N = 3928), que desenvolveram programas de treinamento musical para examinar se essa prática afeta as medidas comportamentais do processamento auditivo e linguístico. Destes estudos, dezenove observaram efeitos no processamento auditivo, 34 no processamento linguístico e nove em ambos. Quarenta e quatro incluíram um grupo de controle passivo, 32 um grupo de controle ativo e 14 incluíram ambos. Dezesseis estudos tiveram atribuição aleatória e 46 não. Vinte e seis estudos tinham programas de treinamento instrumental e 36 eram não instrumentais. Para avaliar os dados comportamentais, foram aplicados modelos meta-analíticos multivariados, síntese narrativa para os dados de neuroimagem e eletrofisiologia, além de outros métodos como avaliação do risco de viés com a ferramenta RoB 2 e correção de viés de publicação com métodos *trim-and-fill* e PET-PEESE (métodos de meta-regressão) – para descartar inferências de estudos individuais e meta-análises tendenciosas.

Os resultados de Neves *et al.* (2022) revelaram um pequeno efeito positivo do treinamento musical no processamento auditivo e linguístico; o método de corte e preenchimento forneceu evidências sugestivas de viés de publicação, porém, o PET-PEESE não. Para os dados cerebrais, a síntese narrativa registrou benefícios do treinamento musical, tanto para o processamento auditivo quanto para o processamento

de fala e prosódia, podendo produzir alterações neurofisiológicas. O treinamento musical melhora de forma modesta o processamento auditivo e linguístico, havendo muitas evidências escassas e fracas. Outro ponto importante é que a existência de viés de publicação não é descartada.

Swaminathan e Schellenberg (2020) levantaram questões sobre a eficácia do treinamento musical para aprimorar as habilidades linguísticas em crianças com o desenvolvimento típico. Os autores sugerem que predisposições musicais inatas, como o ritmo e a memória musical, apresentam um papel mais relevante do que a prática musical nesse processo de aprimoramento. Para isso, testes de habilidade musical (discriminação de melodia, ritmo e memória de longo prazo para música) e testes linguísticos (percepção da fala e gramática) foram aplicados em crianças com o desenvolvimento típico, levando em consideração as variáveis demográficas, QI e memória de trabalho. Os resultados obtidos foram que (1) a habilidade musical prediz a habilidade linguística, sendo a associação independente do QI, ou seja, as habilidades musicais (especialmente discriminação rítmica e memória musical) têm uma correlação significativa com habilidades linguísticas, como a percepção da fala e gramática, mesmo após controlarem-se variáveis como as demográficas e QI; (2) a relação entre música e linguagem parecem surgir principalmente de fatores já preexistentes – então, essa relação não é apenas sobre uma consequência do treinamento musical, mas parece refletir predisposições cognitivas inatas; (3) a evidência de uma ligação entre ritmo e linguagem só pode aparecer quando a discriminação do ritmo é comparada com a discriminação da melodia, sendo que o ritmo teve uma associação mais forte com a gramática e a percepção da fala do que a melodia, indicando que pode ser mais relevante para prever essas habilidades linguísticas do que os aspectos melódicos.

Ademais, Swaminathan e Schellenberg (2020) observaram que, embora o treinamento musical e a habilidade musical estejam positivamente correlacionados, as associações mais fortes com as habilidades de linguagem (como a percepção da fala e a gramática) foram encontradas com a habilidade musical e não por meio de um treinamento musical. Diante disso, a memória musical e a discriminação rítmica tiveram associações parciais positivas com a percepção da fala e a gramática, enquanto a discriminação de melodia não mostrou associação significativa com a gramática. Isso sugere que tanto o ritmo quanto a memória musical são igualmente relevantes para prever a percepção da fala e a gramática, enquanto a melodia desempenha um papel menor nesse processo. Tal descoberta de Swaminathan e Schellenberg (2020) vai de acordo com outros

pesquisadores que propõem uma ligação entre ritmo e a percepção da fala e uma ligação entre ritmo e gramática (Goswami, 2011; Gordon, Shivers *et al.*, 2015).

Os autores concluíram que a habilidade musical prediz a habilidade de linguagem e a predisposição da habilidade musical traz consequências diferenciadoras, principalmente a prática rítmica e o trabalho de memória. Por isso, tais evidências levantam certas dúvidas sobre os benefícios trazidos pelo treinamento musical nas habilidades de linguagem, indo contra as previsões propostas por Patel (2011) de que o treinamento musical poderia beneficiar as competências de leitura – trata-se da hipótese OPERA<sup>20</sup> (Patel, 2011; 2012; 2014).

Os resultados de Swaminathan e Schellenberg (2020) vão de acordo com outros estudos que observaram que as aulas de música parecem desempenhar um papel bem menor no desenvolvimento linguístico típico (Schellenberg, 2011; Sala e Gobet, 2017; Sala e Gobet, 2020). Talvez possíveis benefícios proporcionados pelo treinamento musical tenham impacto confiável nas habilidades de linguagem em crianças com dificuldade de linguagem, em que há muito espaço para melhorias (Swaminathan e Schellenberg, 2020; Goswami, 2011; Gordon, Shivers *et al.*, 2015; Flaugnacco *et al.*, 2015; Hausen *et al.*, 2013; Bhatara *et al.*, 2015). Por fim, é importante reconhecer que muitos estudos tiveram alguns efeitos positivos em habilidades específicas, porém, ainda há muita controvérsia e as evidências são limitadas.

Destaca-se, portanto, que na literatura existem muitos mais artigos e pesquisas a favor da associação, enquanto pesquisas dissociativas limitam-se a uma menor quantidade. Por conta disso, por mais que a sessão de dissociação seja menor, os estudos apresentados têm suma importância ao questionar tantas pesquisas associativas com resultados fracos ou quase inexistentes. Este é um detalhe importante a ser abordado quanto à prática musical como possível influenciador benéfico da linguagem, visto que muitas dessas pesquisas possuem resultados um tanto vagos, os quais precisariam ser investigados mais a fundo para poderem alcançar conclusões mais definitivas.

Tanto os resultados positivos quanto eventuais melhorias em habilidades linguísticas e cognitivas por meio da prática musical podem, talvez, depender mais de predisposições inatas do que do treinamento musical formal (McKay, 2021; Mankel e Bidelman, 2018; Swaminathan e Schellenberg, 2020). Contudo, avançando na análise panorâmica da literatura sobre a relação entre música e linguagem, é importante destacar

---

<sup>20</sup> A hipótese OPERA sugere que a experiência musical aprimora a percepção da fala ao engajar circuitos neurais compartilhados, refinando o processamento auditivo. Envolve cinco fatores centrais, sobreposição neural, precisão, emoção, repetição e atenção.

um outro aspecto fundamental dessa relação: o processamento cognitivo da música e da linguagem, sustentado por mecanismos inatos que podem ou não compartilhar redes neurais comuns entre os dois domínios. Surge, assim, a questão: como ocorre o processamento musical em indivíduos sem experiência formal prévia em música e de que forma ele se relaciona com o processamento da linguagem verbal?

## 5.2 Processamento da Linguagem Verbal e Musical

O estudo sobre música e linguagem na primeira infância tem revelado evidências notáveis de que bebês são capazes de reter experiências auditivas tanto linguísticas quanto musicais na memória de longo prazo, além de utilizar pistas prosódicas e rítmicas para segmentar e organizar essas informações.

Jusczyk e Hohne (1997) observaram que bebês de sete meses de idade expostos repetidamente a palavras incorporadas na fala fluente, dentro de histórias curtas, após um intervalo de retenção de duas semanas sem ouvi-las, demonstraram se lembrar das palavras familiarizadas. Preferiram ouvir uma lista de palavras retiradas da história do que uma lista de palavras sem nenhuma conexão, demonstrando que os bebês mantêm experiências auditivas específicas na memória de longo prazo.

De maneira relevante e dialogando com o estudo de Jusczyk e Hohne (1997), a pesquisa de Saffran, Loman e Robertson (2000) usou materiais musicais para sugerir que existem habilidades semelhantes na memória musical infantil. Assim, os bebês foram expostos a gravações de movimentos de sonatas para piano de Mozart, sendo tocadas diariamente durante 2 semanas. Após o intervalo de 2 semanas, foram reproduzidas passagens de peças familiares em comparação com passagens de novas peças extraídas de outras sonatas de Mozart (executadas pelo mesmo pianista). Esses bebês foram comparados com um grupo controle (crianças que nunca tinham ouvido nenhuma dessas peças). Os resultados mostraram que o grupo controle não teve nenhuma preferência por um tipo de passagem, enquanto o grupo experimental apresentou efeitos da sua exposição anterior, com diferença significativa na preferência auditiva das sonatas familiares (McMullen e Saffran, 2004). Os dados sugerem que tanto a memória musical quanto a memória linguística podem ser recuperadas pelos bebês.

Observe-se também que na aprendizagem fetal há assimilação dos padrões rítmicos da língua materna, permitindo aos recém-nascidos usarem essa experiência para diferenciar as línguas entre si e introduzir o reconhecimento de padrões na fala. É possível que os bebês também façam esse mesmo processo quanto às informações e padrões

rítmicos musicais em ambientes pré-natais, se assim houver uma devida exposição ao *input* auditivo (por exemplo, o canto materno). Após o nascimento, os bebês permanecem atentos às informações prosódicas em ambos os domínios (McMullen e Saffran, 2004).

Curiosamente, as pistas prosódicas também podem desempenhar um importante papel no delineamento da informação estrutural para os bebês que processam a linguagem verbal e a música. Na linguagem verbal, as pistas prosódicas são correlacionadas probabilisticamente com limites estruturais (unidades oracionais e frasais, como o alongamento da sílaba e a queda no tom). Aos 7 meses de idade, os bebês mostraram ouvir por mais tempo amostras de fala onde havia pausas no limite das orações do que as pausas colocadas internamente à oração (Hirsh-Pasek, Kemler Nelson, Jusczyk e Cassidy, 1987). Resultados semelhantes foram observados em estudos usando materiais musicais, nos quais os bebês escutam por mais tempo passagens musicais em que as pausas estavam no final das frases musicais, do que no meio (Jusczyk e Krumhansl, 1993; Krumhansl e Jusczyk, 1990) – Observa-se que a análise dos materiais musicais, assim como os materiais linguísticos, sugere que os mesmos marcadores prosódicos funcionam nos limites das frases musicais: um declínio no tom e um alongamento da nota final (McMullen e Saffran, 2004).

No que se refere ao ritmo, observa-se que tanto a fonologia quanto a música são organizadas rítmicamente por sistemas métricos semelhantes, estruturados em uma grade métrica hierárquica. Contudo, na fonologia, a unidade mínima é a sílaba, e cada sílaba corresponde a uma unidade métrica (que não precisa ser isócrona). Já na música, uma nota pode abranger múltiplas batidas, e cada batida, por sua vez, pode ser subdividida em diversas notas (Jackendoff, 2009).

O ritmo linguístico é definido como um conjunto de diferentes aspectos da linguagem que determinam sua organização temporal, como, por exemplo, o padrão de agrupamento de palavras dentro dos enunciados, as pausas entre eles e o padrão duracional das sílabas (Patel, 2003). Porém, como a organização rítmica se compara nos dois domínios (linguagem e música) em termos de estrutura e processamento cognitivo? Jackendoff (2009, p. 199) afirma que:

“No domínio rítmico, a grelha métrica pode muito bem ser uma capacidade genuína, única na linguagem e na música; o agrupamento musical é mais partilhado com a visão do que com a linguagem, e os contornos da entonação linguística são parcialmente específicos da linguagem.”

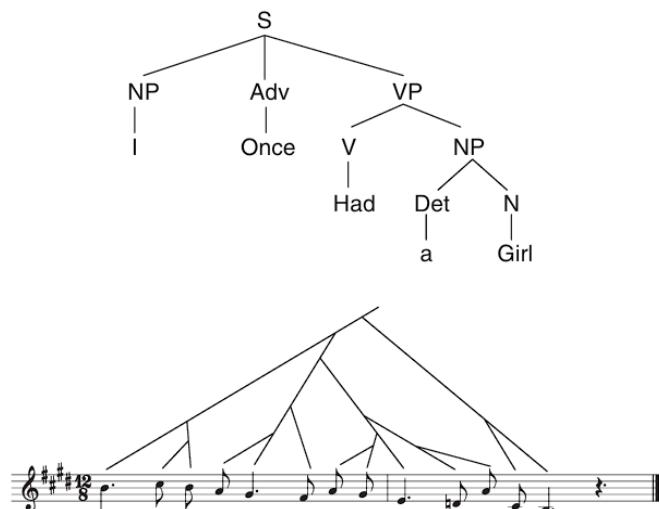
Algumas pistas acústicas para os limites das frases na linguagem verbal são semelhantes também na música. Patel e Daniele (2003) testaram se o ritmo da linguagem falada de uma cultura influencia o ritmo da música instrumental produzida por compositores nativos dessa mesma cultura, diante da hipótese de que a prosódia da língua materna de um compositor pode influenciar o ritmo de sua música instrumental. A metodologia usada foi o Índice de Variabilidade de Pares Normalizado (nPVI) para medir durações entre vogais ou notas musicais. Oito participantes, quatro falantes nativos de inglês britânico e quatro de francês, leram cinco frases uniformes em número de sílabas (15–19 sílabas), sendo medidos os intervalos vocálicos. Quanto à parte musical, foram escolhidos compositores nativos ingleses e franceses (nascidos no séc. XIX e falecidos no séc. XX), como franceses Debussy, Ravel, Saint-Saëns, e britânicos Elgar, Vaughan Williams. Foram medidas as durações das notas de cada tema, extraídas da notação musical escrita, e, com base nessas sequências, foi calculado o nPVI. Os resultados foram que o nPVI da fala inglesa (66,99) foi maior do que o da fala francesa (49,27). Na música, o nPVI da música inglesa (46,91) foi maior do que o da música francesa (40,90).

Patel e Daniele (2003) concluíram nesse estudo que as características rítmicas da fala de uma cultura podem influenciar a estrutura rítmica da música instrumental. Esse paralelo entre o ritmo linguístico e musical destaca como certos aspectos estruturais da música e da fala podem partilhar princípios organizacionais, abrindo caminho para analisar outras dimensões da música que podem apresentar similaridades (ou diferenças) em relação à linguagem, como a sintaxe.

A estrutura sintática é uma estrutura hierárquica em que cada nó pertence a uma categoria sintática, e cada categoria sintática tem suas próprias configurações características de argumentos e modificações. A função da sintaxe é codificar as relações de significado entre as palavras em um “formato” passível de expressão fonológica. Nenhuma dessas funções encontra-se na música. Contudo, a estrutura prolongacional proposta na *Generative Theory of Tonal Music* (GTTM), de Lerdahl e Jackendoff (1983), revela uma possível aproximação com a sintaxe (inspirada originalmente na hierarquia reducional recursiva da teoria schenkeriana – Schenker, 1935; 1979, *apud* Jackendoff, 2009). Essa estrutura, tal como a sintaxe, também possui uma hierarquia recursiva, na qual cada constituinte tem um núcleo e outros dependentes são modificadores ou elaborações do núcleo. Diferentemente da sintaxe verbal, a estrutura prolongacional não tem partes do discurso (a distinção tópico/dominante não é análoga a um sujeito/predicado/objeto).

Ademais, as relações nessas estruturas prolongacionais não são equivalentes à regulamentação das relações conceituais, pois codificam a relativa estabilidade dos eventos de *pitch* em contextos locais e globais. Diante disso, essa estrutura musical cria padrões de tensão e relaxamento à medida que a música se afasta da estabilidade e volta para um novo ponto estável (num sentido geral de afeto). Por isso, afirma-se que a estrutura codifica algo completamente diferente da sintaxe, e por mais que sejam formadas por relações hierárquicas, diferem-se muito entre si (Jackendoff, 2009).

**FIGURA 7** – Relação entre Sintaxe e Estrutura Prolongacional na Música



**Fonte:** Jackendoff (2009).

Por fim, diversos autores buscaram trazer evidências associativas entre a música e a linguagem verbal. Schon, Boyer, Moreno, Besson, Peretz e Kolinsky (2008) propõem que as canções infantis, embora possam exercer uma função de regulação emocional no bebê, também podem desempenhar uma função linguística, contribuindo para a aquisição da linguagem de várias formas. Os principais argumentos dessa proposta são que, em primeiro lugar, os aspectos emocionais de uma música podem aumentar o nível de excitação e atenção; em segundo, do ponto de vista perceptivo, a presença de contornos de altura pode aumentar a discriminação fonológica, uma vez que a mudança de sílaba é geralmente acompanhada por uma mudança na altura. Assim, o mapeamento consistente da estrutura musical e linguística pode otimizar a operação dos mecanismos de aprendizagem.

Jancke (2012) trouxe resultados que demonstraram como a consciência fonológica<sup>21</sup> está intimamente relacionada com a consciência do tom e com a perícia musical (Dege e Schwarzer, 2011; Loui *et al.*, 2011; Stadler, 1990; Anvari *et al.*, 2002; Jentschke *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2009). Já Loui *et al.* (2011) examinaram a relação entre percepção e produção de altura, junto à consciência fonêmica em crianças de 7 a 9 anos de idade (ao todo, 32 crianças estadunidenses). Eles investigaram a hipótese de que o grau de correção dessa percepção e produção de altura (*Pitch*) deveria estar positivamente associado ao nível de consciência fonêmica. Para isso, Loui e colaboradores (2011) aplicaram nas crianças uma bateria de testes para avaliar a consciência fonêmica, percepção e produção de altura, além da tarefa de inteligência geral. Nas tarefas de percepção de *pitch*, as crianças precisaram escutar pares de tons e indicar se o segundo tom era mais alto ou mais baixo do que o primeiro, enquanto nas tarefas de produção, as crianças cantarolavam intervalos de tom, sendo a direção (ascendente\* ou descendente\*) levada em consideração. As pontuações de percepção e produção foram correlacionadas para formar um índice de percepção-produção para cada participante (+1 intervalo\* ascendente; -1 intervalo descendente; +1 segundo tom percebido como mais alto; -1 tom percebido como mais baixo). Também foi avaliada a consciência fonêmica por meio de tarefas de segmentação e manipulação de fonemas. O experimento teve a fase inicial de avaliação, um treinamento musical como intervenção para alguns dos participantes e, posteriormente, a reavaliação.

Loui e colaboradores (2011), para examinar as relações entre ambos os índices de percepção-produção de *pitch* e as habilidades de consciência fonêmica, realizaram correlações bivariadas. Os resultados indicaram uma forte relação entre ambas as variáveis (consciência fonêmica e a percepção do *pitch*), independentemente de idade, QI ou treinamento musical. Ademais, esses dados sugerem que déficits na percepção do tom (presentes em distúrbios como a amusia) podem estar relacionados a dificuldades na percepção fonêmica (Loui *et al.*, 2011).

Em linhas gerais, esta subseção discutiu evidências que indicam que os domínios musical e linguístico compartilham princípios estruturais e temporais que emergem desde os estágios iniciais do desenvolvimento humano. A partir disso, o capítulo a seguir examinará o processamento sintático em cada um desses sistemas, com foco no *Garden Path* musical e linguístico, buscando aprofundar a compreensão sobre a relação entre música e linguagem.

---

<sup>21</sup> A consciência fonológica ajuda na alfabetização: rimas, cantigas, trava-línguas etc.

## 6. Processamento Sintático: *Garden Path* Linguístico e Musical

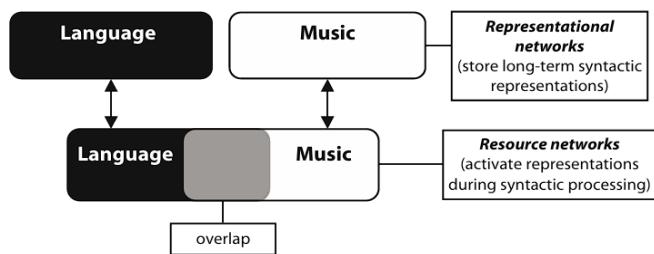
A análise sintática é a tarefa de criar representações estruturais a partir de sequências de palavras (ou unidades equivalentes) em um processo computacional, algorítmico. Isso envolve a forma como a mente humana lida com ambiguidades e as limitações de memória no processamento em tempo real (Cecchetti, Herff e Rohrmeier, 2022).

As propriedades de um processador sintático musical foram discutidas por diversos estudiosos, especialmente no contexto do efeito *Garden Path* (como mencionado em 2.1). O *Garden Path* musical refere-se à necessidade de reanálise, em que uma interpretação inicial deve ser ajustada à medida que novos elementos musicais surgem. Em outras palavras, diante de uma ambiguidade, o processador avalia múltiplas interpretações de modo simultâneo, apoiando-se em uma “função de seleção” que escolhe a interpretação mais plausível com base nas evidências acumuladas (análise paralela). Contudo, os eventos subsequentes musicais podem fornecer novas informações, exigindo que o processador realize uma reavaliação e uma reinterpretação com base nessas informações recém-adquiridas (Cecchetti, Herff e Rohrmeier, 2022).

A hipótese *Shared Syntactic Integration Resource Hypothesis* (SSIRH) de Patel (2003) propõe que, embora os sistemas de conhecimento linguístico e musical possam ser independentes, o sistema responsável pela integração estrutural online pode ser compartilhado entre a linguagem e a música. Ademais, argumenta-se que o SSIRH é um sistema de memória de trabalho não específico de domínio que integra elementos recebidos (tanto palavras quanto acordes/tons), em estruturas em evolução (frases na linguagem, sequências harmônicas na música).

Desse modo, a hipótese postula que a integração estrutural envolve a ativação rápida e seletiva de itens em redes associativas, sendo que a música e a linguagem verbal compartilham os recursos neurais que fornecem essa ativação às redes onde residem as representações específicas de cada domínio (Patel, 2003). Uma previsão da SSIRH é que, ao sobrecarregar o sistema de processamento compartilhado com integrações linguísticas e musicais simultâneas e desafiadoras, ocorre uma dificuldade de processamento superaditiva, decorrente da competição por recursos limitados (Johansson, 2008).

**FIGURA 8** – Relação Funcional entre Linguagem e Música Segundo a Hipótese SSIRH.



**Fonte:** Patel (2003)

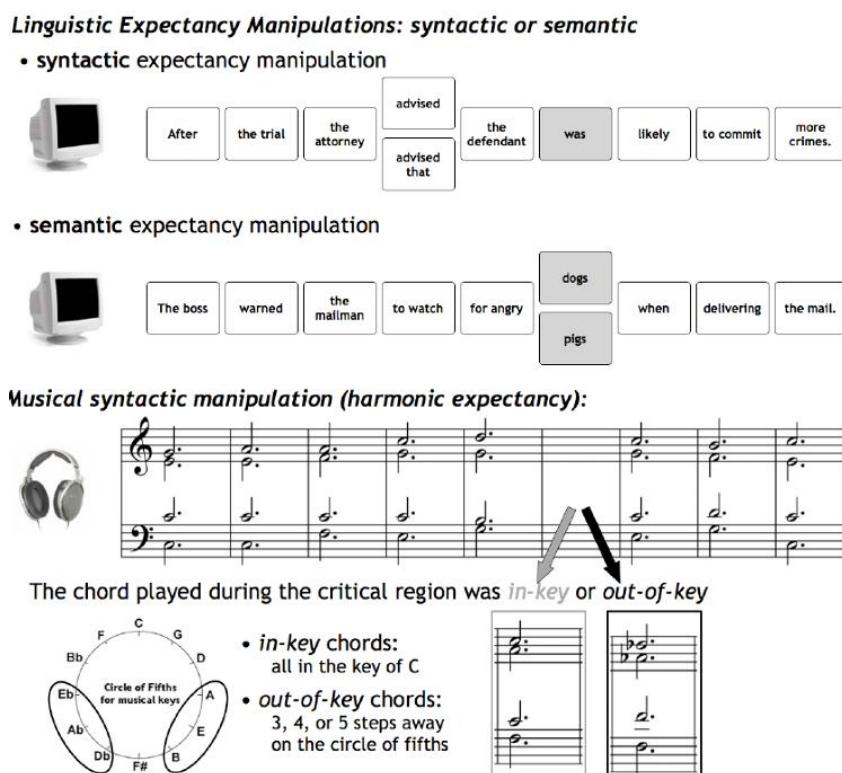
Slevc *et al.* (2008) realizaram um experimento para investigar as demandas de integração sintática musical por meio de expectativas de tonalidade sonora, com sentenças Garden-path. A previsão era que se os recursos de processamento sintático são compartilhados entre a linguagem verbal e a música, então a interrupção causada pela ambiguidade nas frases *Garden-Path* deve ser especialmente severa quando combinada com acordes harmonicamente inesperados. Se for dependente de recursos separados, as interrupções *Garden-Path* não devem ser influenciadas por acordes harmonicamente inesperados.

Neste estudo, os participantes ( $N=96$ , metade não tinha formação musical formal e a outra metade tinha por volta de 7 anos de formação) leram sentenças enquanto ouviram progressões de acordes tonais, as demandas de integração sintática linguística foram manipuladas pelo uso de sentenças de *Garden-Path*, e as demandas de integração sintática musical foram manipuladas com base na estrutura de tonalidade musical. Ademais, para testar a especificidade da ligação entre o processamento da linguagem e o musical, a expectativa semântica na linguagem foi manipulada para determinar se qualquer efeito da expectativa harmônica no processamento da linguagem é específico da sintaxe ou influencia o processamento da linguagem de forma mais geral (Slevc *et al.*, 2008).

Slevc *et al.* (2008) testaram 24 sentenças, sendo 12 para a manipulação sintática (incluído ou omitido um complemento de sentenças) e 12 para a manipulação semântica (probabilidade de *cloze* semanticamente alta ou baixa). A sequência de acordes era no estilo Bach, em Dó maior; a manipulação se deu por meio de um acorde de tom distante. Assim, os participantes tiveram que ler as frases enquanto pressionaram um botão para exibir segmentos consecutivos de texto na tela, acompanhado por um acorde (Tarefa de leitura automonitorada). Após cada frase, foi apresentada uma questão de compreensão. A seguir, uma ilustração deste estudo. Observe que a região em amarelo (região crítica)

manipulou a expectativa sintática ou semântica, e o acorde que acompanha a região crítica manipulou a expectativa harmônica.

**FIGURA 9** – Tarefa do Estudo de Slevc *et al.* (2008)



**Fonte:** Slevc *et al.* (2008).

Os resultados indicaram que os participantes tiveram efeitos de *Garden Path*, assim como desaceleração ao encontrarem frases semanticamente anômalas. A interação entre as sentenças *Garden Path* e a expectativa harmônica dialoga e interage entre si, mostrando que a integração sintática na linguagem e a integração harmônica na música podem recorrer a recursos cognitivos partilhados. Porém, o mesmo não foi observado entre os processos de integração semântica e a expectativa musical, sugerindo que a integração semântica na linguagem e a integração harmônica na música dependem de mecanismos distintos (Slevc *et al.*, 2008).

Recentemente, Cecchetti, Herff e Rohrmeier (2022) trouxeram um novo paradigma comportamental para investigar se um fenômeno de revisão sintática também poderia se manifestar no processamento de melodias tonais sob condições análogas às da linguagem, caracterizando um *Garden Path* musical. Os autores investigaram como os ouvintes interpretam melodias tonais ambíguas e se suas interpretações podem mudar quando uma nova informação musical, inesperada (“desambiguadora”), é apresentada. Assim, a ideia do estudo era testar se a interpretação *a priori* de uma melodia é revisada

para uma nova interpretação (*post-hoc*) após um novo evento musical crítico que desafia a interpretação original. Para isso, a ambiguidade do experimento estava presente por meio da criação de duas melodias, que poderiam ser interpretadas em duas tonalidades diferentes, ou em Dó Maior ou em Fá Maior. Isso se dá pela desafinação da nota Si em um quarto de tom, deixando-a soar entre o Si natural e o Si bemol. Caso o som tendesse mais para o Si natural, então a tonalidade sugerida é a de Dó Maior, se tendesse para o Si bemol, para Fá Maior. – Segundo a teoria musical, a escala de Dó Maior não possui nenhum acidente na armadura\*, enquanto a escala de Fá Maior possui um acidente, Si bemol (Med, 1996).

Essa desafinação criou estímulos musicais ambíguos que forçaram os participantes a reconsiderarem a tonalidade da melodia à medida do surgimento de novas notas. É importante observar que os modos e tonalidades musicais não são apenas um conjunto de notas, e sim incluem movimentos melódicos e harmônicos que determinam as relações funcionais entre as notas. Ao escutar uma melodia em uma certa tonalidade, o ouvinte musicalmente experiente atribui interpretações específicas a cada nota. Contudo, ao desafinar uma única nota, o estudo traz como pequenas mudanças na afinação podem impactar significativamente a percepção da música, forçando a necessidade de uma revisão cognitiva semelhante à que ocorre nas frases ambíguas na linguagem. Os pesquisadores também analisaram se a capacidade de revisão é uma habilidade cognitiva geral ou depende de um treinamento musical formal (Cecchetti, Herff e Rohrmeier, 2022).

Cecchetti, Herff e Rohrmeier (2022), neste estudo on-line, testaram sessenta e dois participantes (idade média de 25,5, faixa de 18 a 74) com uma ampla gama de conhecimentos musicais. A aplicação baseou-se na escuta de estímulos melódicos nas 12 diferentes transposições cromáticas<sup>22</sup>, sendo que as manipulações que removiam a ambiguidade tonal se deram por meio de um acorde final que determinava a tonalidade, clarificando assim qual das duas interpretações possíveis era a correta. Cada estímulo foi apresentado duas vezes aleatoriamente e com diferentes manipulações. Os participantes eram analisados por uma Classificação de Surpresa, classificando o quanto surpresos acharam com esse acorde final, depois tinham que escolher a nota que achavam que deveria continuar a melodia, refletindo a sua interpretação tonal (Resposta de Afinação). Os dados obtidos foram categorizados em três condições, Congruentes se a Resposta de

---

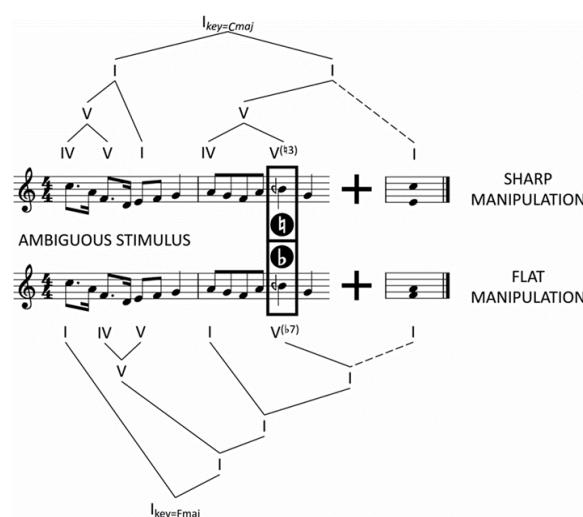
<sup>22</sup> Refere-se a uma alteração na altura, mantendo a relação de intervalos entre as notas. Ao todo, são doze transposições cromáticas. Por exemplo, sequência de 12 notas de C (dó), C#, D, D#, E, F, F#, G, G#, A, A#, B. Uma transposição poderia começar por Fá (F). A nota fundamental mudou, mas a relação de semitom de nota para nota (Fá para Fá sustenido) se manteve.

Afinação dos dois testes correspondia a manipulação tonal apresentada, Incongruentes se as respostas fossem opostas à manipulação e Estável caso a Resposta de Afinação fosse consistente, independentemente da manipulação.

Os resultados indicaram que os participantes geralmente formavam uma interpretação preferida de cada melodia logo no início da escuta, que era mantida mesmo após o acorde final ser soado. Contudo, nos casos em que os participantes mudaram de interpretação da melodia após o acorde final, os pesquisadores observaram um certo padrão nessa mudança, que não era aleatória. A “Classificação de Surpresa” tinha um poder preditivo significativo sobre se a interpretação revisada seria consistente com o acorde final. Por isso, quanto maior era a surpresa dos participantes (com o acorde final), maior era a probabilidade de eles precisarem revisar sua interpretação inicial da melodia na busca do alinhamento com o acorde final formal (Cecchetti, Herff e Rohrmeier, 2022).

A mudança da interpretação da melodia após o último acorde sugere que os ouvintes, quando lidam com um evento inesperado, são propensos a atualizar sua interpretação da melodia de acordo com as novas informações adquiridas. Essa atualização, segundo Cecchetti, Herff e Rohrmeier (2022), não parece ser resultado de um conhecimento explícito musical (adquirido por um treinamento formal) e sim de uma habilidade cognitiva fundamental, tal como o processamento sintático na linguagem. No entanto, vale observar que essa revisão não aconteceu em todos os casos, mas de uma forma probabilística, o que sugere que, em algumas situações, alguns ouvintes tendem a ignorar ou a não integrar plenamente a informação inesperada.

**FIGURA 10** – Representação do Estímulo de Tonalidade Ambígua



**Fonte:** Cecchetti, Herff e Rohrmeier (2022).

A manipulação do Si bemol\* pode ser ouvida como o tom principal em um acorde dominante (V) em Dó, afinado para cima como um Si natural, ou como a sétima de um acorde dominante (V) em Fá, afinado para baixo com um Si bemol. Devido a nota está afinada entre o Si bemol e o Si natural, ambas as interpretações são possíveis até que o acorde correspondente seja apresentado, resolvendo assim a ambiguidade.

Ainda a partir da SSIRH, Fedorenko e colaboradores (2009) investigaram a relação entre processamento sintático da linguagem verbal e processamento sintático musical no nível estrutural, manipulando independentemente a dificuldade das integrações estruturais linguísticas e musicais usando estímulos cantados. Para isso, os participantes (N=16, sem referência explícita a treinamento musical) ouviram frases em ritmos autorregulados, sendo estas frases cantadas com diferentes níveis de complexidade sintática e musical. A manipulação linguística se deu pela variação das sentenças sintáticas complexas das frases (orações relativas com extração de sujeito ou de objeto), enquanto a musical por meio da distância harmônica entre o tom e o centro tonal da melodia. As medidas principais (variáveis dependentes) foram o tempo de audição e a precisão de compreensão (em uma tarefa de leitura automonitorada). O alinhamento das manipulações se deu na última palavra da frase cantada, criando demandas simultâneas de processamento estrutural na linguagem verbal e na música, quanto mais difíceis e distantes harmonicamente eram as sentenças, maior demanda era exigida.

Em suma, os estudos apresentados evidenciam que tanto a linguagem quanto a música apresentam estruturas sintáticas próprias, mas que podem recorrer a recursos cognitivos comuns durante o processamento em tempo real. Esse compartilhamento de mecanismos de integração, quando sobre carregado com demandas complexas, resulta em dificuldades de processamento. Esses resultados mostram a possibilidade de uma sobreposição parcial entre o domínio da música e o da linguagem.

## 6.1 O Curioso Caso de Ravel

“Eu nunca escreverei minha Jeanne d’Arc; esta ópera está aqui, na minha cabeça, eu a ouço, mas nunca a escreverei. Acabou. Não posso mais escrever minha música.” – Ravel, 1933 (Amaducci, Grassi e Boller, 2002, p. 76)<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup> “I will never write my Jeanne d’Arc; this opera is here, in my head, I hear it, but I will never write it. It’s over. I can no longer write my music.”

Diversos estudos surgem tentando compreender o substrato neural relacionado às habilidades musicais, os benefícios do estudo da música a longo prazo e a relação entre música e linguagem. Sabe-se que há uma densa literatura acerca da dupla dissociação de pacientes com danos cerebrais que são afásicos sem necessariamente acompanharem uma perda de habilidades musicais (amusia) e pacientes com amusia sem ter sintomas afásicos manifestados; tais evidências apontam para uma autonomia funcional nesses processos mentais. Contudo, deficiências verbais e musicais podem ocorrer juntas, desafiando essa dupla dissociação, como foi o caso do compositor francês Maurice Ravel (1875 – 1937), que, diante do quadro de afasia e apraxia, tornou-se incapaz de compor (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

Quanto a essa frequência de deficiências verbais e musicais juntas, sugere-se que os substratos anatômicos de ambos são distintos, mas contíguos, podendo ser afetados simultaneamente por uma lesão grande o suficiente para abranger vários territórios funcionais neuronais (Amaducci, Grassi e Boller, 2002). Estudos como Liegeois-Chauvel *et al.* (1998) e Peretz (2001) abordam a possibilidade de as funções relacionadas à música não serem lateralizadas para um único hemisfério na mesma medida que a linguagem e a praxia (Amaducci, Grassi e Boller, 2002), o que poderia justificar todos os sintomas que Ravel sofreu até a morte.

Nos seus últimos anos de vida, Ravel foi vítima de uma doença neurodegenerativa progressiva de natureza incerta, que causou afasia, apraxia, agrafia e amusia. A memória, o julgamento, o afeto e o senso estético estavam relativamente preservados, embora a expressão verbal destes fosse limitada (Cybulska, 1997). Existe um consenso de um diagnóstico de demência, contudo, a causa permanece especulativa. De qualquer forma, Ravel apresentou uma série de sintomas que afetaram tanto a capacidade linguística verbal quanto musical.

Em 1927 ocorreu a primeira manifestação dos sintomas do compositor, apresentando dificuldades para escrever e falar. Um tempo depois, manifestaram-se sintomas de comprometimento da memória (amnésia). Em 1932, após um acidente de carro em Paris, a saúde de Ravel se deteriorou significativamente, aumentando drasticamente as dificuldades de escrever, impedindo-o de compor sua própria música. Em junho de 1933, mal conseguiu arremessar uma pedra no mar, acertando, sem querer, sua amiga de infância, Marie Gaudin. Ravel, apesar de já ter sido um bom nadador, perdeu as habilidades de nadar a ponto de quase se afogar. Sua última apresentação pública foi em 1933, após isso, Ravel não tinha mais condições de reger devido à dificuldade de coordenação, cognição e fala (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

O neurologista Alajouanine (1890-1980), em 1936, escreveu em um relatório que Ravel apresentou comprometimento difuso, mas moderado, da linguagem oral e escrita, junto a uma apraxia ideomotora grave. Diante disso, o compositor francês não tinha mais condições de escrever, tampouco de tocar piano. Também ocorreu comprometimento moderado da produção e da compreensão da palavra falada (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

Ravel veio a óbito em 1937, no nono dia de coma após realizar o procedimento de craniotomia no lado direito. Os cirurgiões, durante o procedimento, relataram que existia um aspecto afundado (Amaducci, Grassi e Boller, 2002), mas não existia nenhuma evidência no cérebro de atrofia, amolecimento, tumor ou hematoma que pudesse explicar a condição de Ravel (Vitturi e Sanvito, 2019).

Além das deficiências linguísticas, Ravel apresentou deficiência no domínio musical, tendo incapacidade de ler uma partitura à primeira vista, não conseguindo tocar por completo, de memória, suas obras e tendo muita dificuldade em nomear/escrever notas musicais escutadas (Amaducci, Grassi e Boller, 2002). No entanto, curiosamente, as habilidades auditivas perceptivas estavam intactas. O neurologista Alajouanine, em uma de suas anotações, declarou que Ravel conseguia cantar algumas de suas músicas, mas só se as primeiras notas fossem dadas. Ravel compareceu a concertos e expressou críticas ou descreveu prazeres que sentiu das músicas que escutou; então, a sensibilidade artística e o julgamento não pareciam alterados. Outras anotações declararam que o compositor tinha dificuldade em escrever música, embora essa habilidade fosse mais bem preservada do que a escrita verbal. Quanto ao piano, Ravel tinha que procurar a localização das notas no teclado, sendo que tinha muita dificuldade em ler e tocar, mas conseguia tocar de cor os primeiros compassos de suas próprias composições, tendo mais dificuldade com peças desconhecidas (Darvesh, Cash, Martin e Engelhardt, 2024). Ademais, o pianista conseguia reconhecer a maioria das obras que conhecia de imediato, também conseguiu reconhecer mínimos erros de execução de sua obra durante uma tarefa que realizou, na qual diversas partes do *Tombeau de Couperin* foram tocadas corretamente e, depois, com pequenos erros (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

Alajouanine observou uma grave perturbação para a realização musical e dificuldade de expressar o pensamento musical, apesar de estar relativamente preservado. Já a sensibilidade estética musical estava praticamente intacta (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

“Ele reconhece imediatamente a maioria das obras que conhecia e, de qualquer forma, reconhece perfeitamente suas próprias obras... Ele percebe imediatamente o menor erro na execução de suas obras; várias partes do Tombeau de Couperin foram tocadas corretamente primeiro e, depois, com pequenos erros (sejam notas ou tempo). Ele protestou imediatamente e exigiu precisão perfeita.” – Anotações do médico Alajouanine sobre Ravel (Amaducci, Grassi e Boller, 2002, p. 77)<sup>24</sup>.

O *Bolero* foi uma das últimas obras de Ravel e o aspecto mais marcante desta composição é a constante batida rítmica regular, que se mantém igual a todo momento e, principalmente, a melodia repetitiva sem variação, tampouco evolução. Observa-se que Ravel compôs o *Bolero* logo após o surgimento dos primeiros sintomas neurológicos, por isso, é possível observar que nesta obra já existe uma simplicidade repetitiva, quase como uma obsessão pelas mesmas sequenciais de notas e pelo ritmo regular e constante (Cybulska, 1997). Contudo, destaca-se que o *Bolero* exibe uma extraordinária complexidade rítmica, com sobreposição de ritmos binários e terciários. Além disso, cada parte inclui acordes de quatro ou cinco sons que usam diversos sistemas harmônicos e existem 25 timbres diferentes. Reconhece-se que esta obra tem uma característica complexa que se afasta de um trabalho de uma pessoa com demência. Pelo contrário, poderia ser um teste do bom funcionamento do sistema executivo (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

“Depois, há todas as falas depreciativas, muitas delas ditas pelo próprio Ravel. Quando uma senhora idosa, na estreia, gritou ‘Absurdo!’, ele respondeu: ‘Ela entendeu a mensagem!’ Quando Ansermet achou a peça muito boa, ele respondeu: ‘Realmente não consigo entender por quê!’ A Honegger disse: ‘Eu escrevi apenas uma obra-prima – Boléro. Infelizmente, não há música nela’.” (Nichols, 2011, p. 302)<sup>25</sup>

<sup>24</sup> “He recognizes immediately most of the works he knew, and anyway he recognizes perfectly his own works... He immediately notices the slightest mistake in the playing of his works; several parts of the Tombeau de Couperin were first correctly played, and then with minor errors (either notes or tempo). He immediately protested and demanded perfect accuracy.”

<sup>25</sup> “Then there are all the dismissive lines, many of them spoken by Ravel himself. When an old lady at the premiere yelled ‘Rubbish!', he replied, ‘She got the message!' When Ansermet found the piece very good, he responded, ‘I really can't think why!' To Honegger, he said, ‘I've written only one masterpiece – Boléro. Unfortunately, there's no music in it.’”

Enfim, nunca se chegou a um diagnóstico, pois não foi concedida uma autópsia. Observa-se que evidências descartam a possibilidade de sífilis, também descartam a possibilidade de um hematoma subdural no hemisfério esquerdo durante o acidente de carro, em 1932. Na verdade, o evento do acidente provavelmente teve um efeito revelador de um déficit já pré-existente. Ravel nunca apresentou sinais agudos que caracterizam a doença cerebrovascular, tampouco se pode ter certeza de uma degeneração cerebral causada pela doença de Alzheimer, pois a memória semântica e visuoespacial de Ravel estava intacta (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

Não se pode descartar a hipótese de que o processo degenerativo de Ravel poderia ter se espalhado para o hemisfério direito, porém, há indícios de anteriormente ocorrer uma lesão latente no hemisfério esquerdo, que pode ter influenciado sua produção musical (Amaducci, Grassi e Boller, 2002). Isso vai ao encontro de estudos que mostram alterações artísticas e musicais, sendo uma marcante consistência em pacientes com atrofia frontotemporal (Miller *et al.*, 2000; Neary, Snowden, Northern *et al.*, 1988).

Por fim, destaca-se que o hemisfério direito, responsável pelo processamento de timbres, teve um papel essencial na composição do *Bolero* de Ravel, enquanto o ritmo, mais associado ao hemisfério esquerdo, também foi fundamental nessa obra. Então, ambos os hemisférios podem ter contribuído significativamente para a criação desta obra, porém, o equilíbrio entre os dois lados do cérebro pode ter mudado por causa da doença. Diante dessa evidência, as mudanças estilísticas na obra podem ter sido influenciadas pelo estado neurológico. Se a lesão inicial se encontrava no hemisfério esquerdo, foi necessário um maior envolvimento do hemisfério direito na composição, reagindo a uma maior ênfase nos timbres e texturas sonoras. Talvez, essa perspectiva reforce a ideia de que a criatividade musical pode ser modulada por fatores neurobiológicos (Amaducci, Grassi e Boller, 2002).

## 7. As Hipóteses que Orientam o Estudo Experimental

Vale destacar que muitas evidências apontam que a habilidade musical rítmica tem mais efeito na linguagem do que a melódica (Swaminathan e Schellenberg, 2020; Goswami, 2011; Gordon, Shivers *et al.*, 2015; Flaugnacco *et al.*, 2015; Hausen *et al.*, 2013; Bhatara *et al.*, 2015). A subseção 7 tem como objetivo apresentar as duas hipóteses centrais da dissertação, que orientam a investigação experimental conduzida. Ambas as hipóteses serão detalhadas, fornecendo o fundamento teórico necessário para a realização e interpretação dos experimentos subsequentes, voltados à análise do processamento musical rítmico em crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL).

Beier e Ferreira (2018) investigaram como a percepção do ritmo musical pode estar relacionada à previsão temporal do *estresse* (acento tônico) na fala, ou seja, como os ouvintes usam a percepção do ritmo para antecipar elementos linguísticos essenciais. A hipótese central era de que as pessoas com mais sensibilidade ao ritmo musical podem apresentar uma melhor habilidade em prever padrões de estresse na fala. Para isso, os participantes precisaram realizar duas tarefas, uma de percepção do ritmo musical (escutaram sequências de batidas e foram instruídos a sincronizar com esse ritmo regular) e, em seguida, realizar uma tarefa de previsão do estresse na fala (ouvir frases faladas e identificar onde os padrões de estresse ocorriam nas palavras). Os autores concluíram que os padrões de acento silábico tornam o ritmo da fala previsível para os ouvintes.

Já crianças com problemas de linguagem/aprendizado também apresentaram dificuldades rítmicas (Flaugnacco *et al.*, 2015; Weinert, 1992; Corriveau e Goswami, 2009; Thomson e Goswami, 2008; Bedoin, Brisseau, Molinier, Roch, Tillmann, 2016). Por exemplo, Gordon, Shivers *et al.* (2015) apontaram evidências de que a sensibilidade perceptiva ao ritmo musical, medida por meio de habilidades de discriminação de ritmo, está fortemente associada às habilidades de gramática falada, após o controle do QI não verbal, do status socioeconômico e da experiência musical. Corriveau e Goswami (2009) trouxeram evidências de que crianças com TDL apresentam dificuldades em tarefas de sincronização rítmica. Ladányi *et al.* (2020), após uma detalhada revisão da literatura e das diferentes linhas de pesquisa sugerindo processos subjacentes compartilhados para ritmo musical e processamento da linguagem verbal, propuseram a Hipótese de Risco de Ritmo Atípico, que postula que indivíduos com ritmo típico apresentam um maior risco de transtornos de desenvolvimento da linguagem.

Kreidler, Vuolo e Goffman (2023) partiram da hipótese de que crianças com TDL apresentam dificuldades em habilidades motoras sequenciais e rítmicas, possivelmente

relacionadas a mecanismos cognitivos gerais de temporalização e organização sequencial. Diante do questionamento “crianças com TDL têm déficit em agrupar ritmos de modo correto e preciso?”, os autores avaliaram a possibilidade de um déficit de aprendizado sequencial de padrões temporais. Para isso, foram recrutadas 57 crianças (36 TDL e 21 atípicas, idade de 4 a 5 anos), que precisaram reproduzir uma sequência musical rítmica 24 vezes (12 batendo palmas, 12 batendo um tambor). Os resultados sugeriram que os indivíduos com TDL tiveram mais dificuldade em organizar sequências temporais estáveis, apresentando um desempenho menos preciso e com mais variações na reprodução dos agrupamentos rítmicos quando comparados aos típicos. Portanto, a pesquisa concluiu que crianças com TDL podem apresentar um déficit específico na organização rítmica manual, não explicado por habilidades motoras gerais. Os autores argumentam que esse déficit parece estar relacionado a fatores tanto linguísticos (agrupamento prosódico) quanto musicais.

A seguir, serão apresentadas a hipótese de Fiveash, Bedoin, Gordon e Tillmann (2021), a PRISM (*Processing Rhythm In Speech and Music*), que tem como base teórica as hipóteses<sup>26</sup> OPERA, SEP, PATH e TSF (estas não serão aprofundadas, a fim de manter o recorte proposto) e a hipótese de Risco de Ritmo Atípico (ARRH, *Atypical Rhythm Risk Hypothesis*), de Ladányi, Persici *et al.* (2020).

## 7.1 PRISM

A hipótese PRISM (*Processing Rhythm In Speech and Music*), de Fiveash *et al.* (2021), sugere que o processamento rítmico na fala e o processamento rítmico na música compartilham três mecanismos fundamentais: (I) processamento auditivo preciso e de granulação fina; (II) sincronização e alinhamento de oscilações neurais com estímulos rítmicos externos; e (III) acoplamento sensório-motor.

É proposto pelos autores que esses três mecanismos podem estar profundamente interconectados, mas cada um desempenha um papel específico no processamento de música e fala. Por exemplo, o processamento auditivo (I) é essencial para discriminar mínimos desvios temporais e para a percepção auditiva no geral. Já a sincronização e o arrastamento das oscilações neurais em resposta a estímulos externos (II) possibilitam a

---

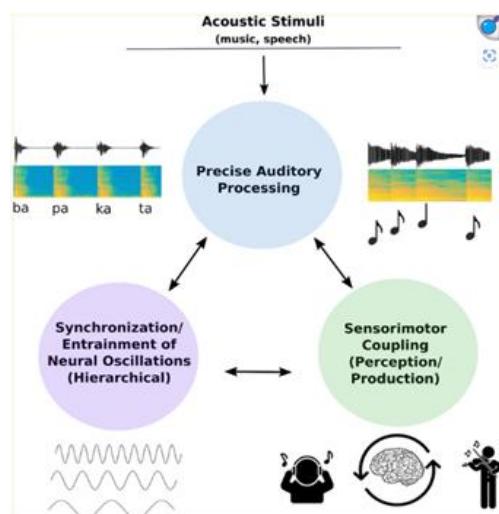
<sup>26</sup> Para uma revisão: hipótese TSF (*Temporal Sampling Framework*), ver Goswami (2011), Goswami *et al.* (2002, 2010); para a hipótese PATH (*Precise Auditory Timing Hypothesis*), ver Tierney e Kraus (2014); A hipótese SEP (a hipótese postula duas coisas: *Sound Envelope Processing* e/ou *Synchronization and Entrainment to Pulse*), ver Fujii e Wan (2014); Por fim, para a hipótese Opera, ver Patel (2011, 2012, 2014).

previsão de eventos futuros e o acompanhamento da estrutura hierárquica em diferentes níveis. Por fim, o acoplamento sensório-motor (III) representa uma conexão estreita entre percepção e produção no cérebro, o que também fortalece os mecanismos de temporização e antecipação (Fiveash *et al.*, 2021).

“O ritmo refere-se aos padrões temporais criados pelos inícios e durações de eventos acústicos em uma sequência recebida<sup>27</sup>. De acordo com essa definição, tanto a música quanto a fala são sinais auditivos que se desenrolam no domínio temporal e contêm informações periódicas (e quase periódicas) estruturadas por uma série de pistas acústicas semelhantes, incluindo duração (tempo), frequência (altura tonal), amplitude/intensidade (volume) e timbre (qualidade do instrumento/voz)<sup>28</sup>. Essas pistas acústicas e a forma como estão estruturadas no tempo constituem a base da percepção de baixo nível do ritmo do estímulo auditivo em ambos os domínios, o que, por sua vez, tem implicações para processos de nível superior, como predição e construção de estruturas.” (Fiveash *et al.*, 2021, p. 2-3).

A ilustração a seguir busca demonstrar o funcionamento da hipótese PRISM. Cada mecanismo também pode estar envolvido no funcionamento dos outros mecanismos, conforme indicado nas setas bidirecionais.

**FIGURA 11** – Representação Ilustrativa do PRISM



**Fonte:** Fiveash, Bedoin, Gordon, e Tillmann (2021).

<sup>27</sup> As referências da citação original foram retiradas do texto para uma leitura mais fluida, mantendo-se a integridade da citação e indicando-as em nota de rodapé. London (2012); McAuley (2010).

<sup>28</sup> Allen *et al.* (2017); Besson *et al.* (2011).

Evidências da neurociência mostraram que a prática e o treinamento musical provocam mudanças em todo o sistema auditivo (Zatorre e McGill, 2005). Por exemplo, Pantev *et al.* (1998) observaram por meio de magnetoencefalografia (MEG), comparando músicos e não músicos, que pianistas tiveram um aumento da atividade neural no córtex auditivo em resposta à escuta de notas de piano. Principalmente, os autores demonstraram como essa ativação estava correlacionada com a idade em que o treinamento de piano começou e com o número de anos de estudo do instrumento, sugerindo uma plasticidade cerebral.

Sugere-se que o processamento auditivo preciso (I) está relacionado à capacidade de discriminar desvios muito pequenos ou mudanças no tempo (refere-se a pontos de referência específicos no som, em uma sequência de milissegundos), no tom e no timbre – qualidade do som (Kraus e Chandrasekaran, 2010). O processamento auditivo preciso e de granulação fina mostrou estar relacionado a essa capacidade discriminatória, fundamental para a percepção exata e precisa de eventos acústicos, como na fala, discriminando sílabas (/ba/ e /pa/). Além disso, o processamento auditivo preciso processa desvios sutis no tempo, como ao sincronizar diferentes partes instrumentais na percepção/produção musical (Patel, 2011; Fiveash *et al.*, 2021).

Ademais, Madison e Merker (2004) investigaram a habilidade humana de acompanhar mudanças pequenas e desvios contínuos subliminares de um ritmo isócrono (regularidade de tempo). A isocronia é uma característica central no processamento temporal dentro de contextos musicais e de sincronização motora. Para isso, os participantes tiveram que escutar uma sequência de batidas com desvios sutis, praticamente imperceptíveis. Os participantes, ao escutarem esses sons criados, precisavam acompanhar esse ritmo por meio de batidas manuais em uma tecla sensível, sincronizando e ajustando conforme esses desvios subliminares. Os autores mostraram que as pessoas reagem a perturbações de tempo no intervalo de 3–96 ms em sequências sonoras isócronas. Assim, pelo fato de os participantes conseguirem ajustar o tempo do toque, por mais que os desvios fossem pequenos a ponto de escapar à percepção consciente, esses resultados mostram como existe uma sensibilidade implícita a essas flutuações temporais. Em outras palavras, o sistema auditivo parece ser sensível a desvios temporais menores que o limiar de detecção consciente, além do sistema sensório-motor humano ser altamente sensível a variações de tempo. Essa possível relação pode se dar devido às conexões estreitas entre áreas auditivas e motoras do cérebro (Repp, 2000; Tierney e Kraus, 2014).

A habilidade de rastrear informações temporais envolve intervalos específicos de tempo (janelas de integração temporal), como discriminar sons em intervalos de 20 a 40 ms, e para sustentar esse processo, o cérebro usa oscilações neurais em diferentes faixas de frequências – ondas delta e gama (Fiveash *et al.*, 2021). Essencialmente, essa precisão é fundamental para distinguir os componentes temporais da fala e da música, que dependem de sutis variações rítmicas.

Segundo Giraud e Poeppel (2012), essas oscilações neurais ajustam-se aos estímulos rítmicos externos (como batidas musicais ou a cadência da fala), proporcionando, assim, maior facilidade na sincronização entre o que é escutado e a resposta cognitiva ou motora correspondente. Portanto, o processamento auditivo preciso está intimamente relacionado ao acoplamento sensório-motor e à sincronização das oscilações neurais com estímulos rítmicos externos, os quais constituem a base do processamento do ritmo na música e na fala (Fiveash *et al.*, 2021; Morillon e Baillet, 2017; Peelle e Davis, 2012).

Quanto à sincronização e alinhamento de oscilações neurais com estímulos rítmicos externos (II), temos:

“As oscilações neurais são padrões recorrentes de atividade elétrica, com ciclos de inibição e excitação produzidos pelos neurônios (...), elas desempenham um papel central no processamento da música e da fala, rastreando ritmos auditivos e sendo fundamentais para a percepção musical (...) e da fala.” (Fiveash *et al.*, 2021, p. 8).

Buzsáki e Draguhn (2004) explicam que as oscilações neurais são padrões inibitórios e excitatórios recorrentes de atividade elétrica produzidos pelos neurônios, presentes em todo o cérebro. Segundo os autores, as oscilações neurais são responsáveis por sincronizar a atividade entre diferentes regiões cerebrais para uma melhor coordenação e um processamento mais eficiente de informações. Então, as oscilações demonstram ser fundamentais na sincronização entre diferentes áreas distantes do cérebro para a integração de informações complexas, podendo contribuir para o processamento da música e da fala. As oscilações neurais variam em frequências lentas (associadas a atividades como navegação espacial e memória) até rápidas (como tarefas de atenção e memória de trabalho), tendo, cada uma, diferentes funções (para uma revisão, ver Buzsáki, 2019).

Essa atividade elétrica vem sendo associada à sincronização/arrastamento (Calderone *et al.*, 2014), processamento hierárquico (Poeppel e Assaneo, 2020) e comunicação entre regiões cerebrais (Assaneo e Poeppel, 2018). Todos esses elementos são integrantes da música e do processamento da fala, porém, como principal foco desta pesquisa, as oscilações também têm sido associadas ao processamento preciso auditivo. Por exemplo, Goswami (2011) argumenta que as oscilações neurais podem ocorrer em diversas frequências e são essenciais para sincronizar o processamento cerebral com as características rítmicas do ambiente sonoro. Assim, a amostragem temporal da fala, por meio dessas oscilações, processa informações em diferentes frequências. Esses resultados dialogam com outras pesquisas de EEG e MEG que observaram pessoas com dislexia que apresentam padrões atípicos de oscilações cerebrais nas frequências teta e delta (Goswami *et al.*, 2002; Muneaux, *et al.*, 2004; Surányi *et al.*, 2009; Goswami *et al.*, 2010; Hamalainen *et al.*, 2005; Georgiou *et al.*, 2010), o que poderia esclarecer as dificuldades perceptivas e fonológicas com sílabas, rimas e fonemas presentes em pessoas com dislexia (Fiveash *et al.*, 2021). Por isso, as oscilações neurais são sugeridas como subjacentes ao processamento preditivo, à percepção da música e fala. Ademais, principalmente, podem fundamentar a eficácia do treinamento focado em ritmos/batidas musicais para o processamento da fala.

Morillon e Baillet (2017) apresentaram, em um experimento de magnetoencefalografia, envolvendo atenção temporal auditiva, como as oscilações neurais estão associadas ao acoplamento sensório-motor. O estudo investigou a percepção de frequências tonais e a interação entre o processamento auditivo e a sincronização rítmica. Para isso, os participantes (21 adultos) realizaram uma tarefa comportamental com duas condições: *Listen* e *Tracking*. Na primeira, o participante precisou ouvir uma sequência de 20 tons puros apresentados, divididos em três categorias (tom de referência, alvo e distrator) em fones de ouvido binauralmente (tom de referência de 440 Hz e batida de 1,5 Hz). Os tons de alvo e distração tinham frequências variáveis. Assim, os participantes realizavam a tarefa de categorização de altura tonal, decidindo se a frequência média dos alvos era maior ou menor do que a de referência. Já na condição de *tracking*, os participantes precisavam seguir o ritmo com o dedo, movendo-o em sincronia com os tons. Ambas as condições da tarefa foram projetadas para dissociar os processos neurais de movimentos motores (relacionados ao córtex motor direito) das previsões temporais (a princípio, lateralizadas no hemisfério esquerdo).

Os resultados mostraram que as previsões temporais são codificadas por oscilações neurais delta e beta interdependentes, originadas do córtex sensório-motor

esquerdo e direcionadas para regiões auditivas. Além disso, Morillon e Baillet (2017) observaram como os movimentos rítmicos melhoraram a qualidade das previsões temporais, aguçando a seleção temporal de informações auditivas relevantes. Portanto, observa-se que as oscilações neurais parecem ser um mecanismo subjacente ao processamento preditivo, à atenção temporal e ao rastreamento de estímulos rítmicos externos (Morillon e Baillet, 2017; Fiveash *et al.*, 2021).

Vale destacar que o papel das oscilações neurais na atenção temporal e no processamento preditivo, especialmente na música e na fala, é bem delineado na Teoria de Atenção Dinâmica (DAT, *Theory of Dynamic Attending*), de Jones (1976, 2019). De maneira geral, essa teoria propõe que as oscilações neurais se sincronizam com sinais rítmicos externos ou quase rítmicos (estímulos temporais que apresentam regularidade suficiente para criar uma estrutura temporal previsível, como os sons da fala ou da música). Contudo, esses estímulos não precisam ter uma regularidade exata, pois mesmo em padrões quase rítmicos, o cérebro consegue captar regularidades temporais. No instante em que as oscilações neurais se sincronizam com esses estímulos, a atenção se direciona a pontos específicos previstos no tempo, aprimorando o processamento preditivo. Dessa forma, esses sinais permitem ao cérebro alinhar as oscilações neurais, otimizando a alocação de atenção e o processamento da informação no momento exato.

Jones (2019) aponta como as oscilações neurais são fundamentais para o processamento preditivo e de rastreamento de estímulos rítmicos, visto que beneficiam a detecção e memorização de padrões temporais. Assaneo e Poeppel (2018) observaram, em termos de comunicação, que essas oscilações também auxiliam na interação entre áreas cerebrais (côrrix auditivo e motor). Giraud e Poeppel (2012) demonstram como oscilações neurais contribuem para a representação de diferentes níveis hierárquicos na música e na fala, ajustando-se a estruturas rítmicas e métricas de acordo com o estímulo externo.

O envolvimento do sistema motor no acoplamento sensório-motor (III) parece ser crucial para a percepção e produção da fala (Fiveash *et al.*, 2021). Evidências demonstram existir uma sincronização entre o córrix auditivo e o córrix motor, principalmente na taxa de sílabas, em torno de 4,5 Hz. O córrix motor apresenta um papel crucial na produção da fala e no processamento auditivo da fala, em outras palavras, esse fenômeno de sincronização sugere que o cérebro antecipa os movimentos articulares que correspondem aos sons da fala, facilitando a compreensão (Assaneo e Poeppel, 2018).

“O acoplamento sensório-motor (ou auditivo-motor) refere-se à conexão entre os córtices auditivo e motor e é um mecanismo subjacente central para a percepção e produção da música e do ritmo da fala. (...) O sistema motor desempenha um papel crucial no acoplamento sensório-motor, ajudando a gerar previsões sensoriais precisas para música e fala<sup>29</sup>. ” (Fiveash *et al.*, 2021).

Fiveash, Bedoin, Gordon e Tillmann (2021) propõem que o cérebro utiliza áreas motoras e auditivas, em conjunto, para processar as regularidades temporais da fala e da música, sendo uma contribuição do acoplamento sensório-motor. Isso sugere que a percepção auditiva e a coordenação motora compartilham mecanismos para processar ritmos tanto na música quanto na fala. Por exemplo, após escutar uma sequência de sons, seja uma melodia ou uma frase falada, o sistema sensório-motor busca sincronizar e antecipar o ritmo e o tempo desses estímulos.

Em apoio a esta proposta do acoplamento sensório-motor, o estudo de Li *et al.* (2018) comparou a conectividade estrutural e a conectividade funcional em estado de repouso (rs-FC) em jovens adultos saudáveis e típicos, com e sem intervenção musical durante a análise longitudinal. Os participantes foram divididos em dois grupos, um recebeu treinamento musical formal de piano (29 participantes), sendo seis aulas semanais de uma hora, mais uma prática supervisionada de no mínimo 30 minutos, e o grupo controle (27 participantes) não teve nenhuma intervenção musical. Todos foram testados antes e depois do período de intervenção (24 semanas). Para investigar e entender a plasticidade induzida pela prática musical, foram aplicados em ambos os grupos, antes e depois da intervenção, testes comportamentais e neuropsicológicos, junto à ressonância magnética funcional. Também foi realizada uma correlação com o tempo de prática musical entre as mudanças em conectividade estrutural e a conectividade funcional.

Os resultados de Li *et al.* (2018) revelaram que o treinamento de piano afeta a conectividade funcional dentro da rede sensório-motora, enquanto nenhum efeito foi encontrado dentro das regiões auditivas. Outro achado foi um aumento da conectividade funcional e da conectividade estrutural da rede auditivo-motora após o treinamento. Ademais, foi observado como tais mudanças (conectividade funcional dentro da rede sensório-motora e conectividade estrutural da rede auditivo-motora) foram positivamente

---

<sup>29</sup> Kotz e Schwartze, 2010; Palva e Palva, 2018.

correlacionadas com o maior tempo de prática instrumental. Portanto, esses dados apontam como o treinamento musical pode induzir um aumento na interação global e local das regiões relacionadas à performance musical, sendo curioso o detalhe de que o treinamento com mais horas de prática apresentou um aumento maior na conectividade funcional da rede sensório-motora.

Hyde *et al.* (2009) realizaram um estudo longitudinal de 15 meses, investigando a influência do treinamento musical prolongado no desenvolvimento cerebral, comportamental e cognitivo em crianças pequenas (5 a 6 anos de idade). O objetivo dos autores foi verificar se a prática musical provoca mudanças correlacionadas positivamente com a melhora no desempenho auditivo-motor e na estrutura cerebral. Para isso, utilizaram a abordagem automatizada Morfometria Baseada em Deformação (DBM, *Deformation-based Morphometry*), que mede expansões ou contrações do tamanho cerebral com base em voxels.

Ao todo, 31 crianças participaram do estudo, pareadas em termos de idade e nível socioeconômico. Todas foram avaliadas no início e ao final do período de intervenção por meio de testes comportamentais das habilidades motoras e auditivas, além de análise por ressonância magnética (MRI). As crianças foram divididas em dois grupos: o grupo instrumental, formado por 15 crianças, recebeu um teclado e aulas particulares individuais durante 15 meses; o grupo controle, formado por 16 crianças, não recebeu intervenção musical, mas participou de uma aula semanal em grupo de canto e bateria.

Os resultados de Hyde *et al.* (2009) mostraram que as crianças do grupo instrumental apresentaram melhorias comportamentais nas tarefas motoras e de percepção de melodia e ritmo após o período de intervenção, enquanto não houve diferenças nas tarefas não musicais. Além disso, essas crianças exibiram alterações estruturais em áreas cerebrais específicas, com maior variação no tamanho dos voxels em regiões motoras — como o giro pré-central direito e o corpo caloso — e em uma região auditiva primária direita (giro de Heschl), em comparação ao grupo controle. Esses achados fornecem evidências de plasticidade cerebral induzida pelo treinamento musical na infância.

Enfim, Fiveash *et al.* (2021) argumentam que o treinamento musical focado no ritmo (principalmente na prática de sincronizar uma ação com um ritmo, como bater palmas) pode fortalecer a conexão entre essas áreas cerebrais. Por isso, esse treinamento poderia ser benéfico tanto para o processamento da música quanto para o processamento da fala, principalmente quanto à atenção e à previsão temporal.

Em síntese, compreender as conexões entre o processamento auditivo preciso, sincronização das oscilações neurais para estímulos rítmicos externos e o acoplamento sensório-motor pode fornecer *insights* valiosos para estudos de ritmo na fala e na música. Qualquer déficit num ou mais desses mecanismos propostos pode trazer impactos diretos no processamento da linguagem, na fala e na música, afetando a percepção e a produção de sons, tal como as habilidades rítmicas. Tais dificuldades podem levar a problemas de compreensão da fala, reprodução de sons ou no reconhecimento de padrões musicais, impactando a comunicação e a interação social.

## 7.2 ARRH

A Hipótese de Risco de Ritmo Atípico (ARRH; *Atypical Rhythm Risk Hypothesis*), proposta por Ladányi, Persici *et al.* (2020), sugere que o processamento de ritmos atípicos pode ser um fator de risco para distúrbios do desenvolvimento da fala e da linguagem, uma vez que crianças com TDL ou dislexia apresentam déficits no processamento temporal. Contudo, a teoria postula que a presença de um ritmo atípico não significa necessariamente que o indivíduo terá comprometimento na linguagem, mas indica um fator de risco na predição de transtornos de fala e linguagem, especialmente em combinação com outros fatores já conhecidos. Entende-se como ritmo atípico a presença de dificuldades na sensibilidade à batida rítmica, manifestando-se de forma significativamente imprecisa quando comparada às habilidades rítmicas típicas. Ele também pode ser definido por meio de atenção dinâmica deficiente, ou seja, surdez de batida (Sowinski e Dalla Bella, 2013) ou amusia baseada no tempo (Peretz e Vuvan, 2017), sendo assim classificado quando ocorre desempenho abaixo da média em tarefas de percepção e produção rítmica (Ladányi *et al.*, 2020).

Tal como o estudo de Fiveash *et al.* (2021), Ladányi *et al.* (2020) também concordam com a teoria de que o cérebro humano compartilha mecanismos subjacentes para o ritmo musical e para o processamento da linguagem verbal, principalmente o processamento auditivo de granulação fina, redes cerebrais oscilatórias e acoplamento sensório-motor. Uma diferente linha da literatura enfatiza o compartilhamento do processamento de estruturas hierárquicas no ritmo musical e no processamento sintático (Fitch e Martins, 2014; Heard e Lee, 2020).

Lashley, em 1951, apresentou uma crítica sobre a capacidade humana de organizar ações em sequência, fosse na linguagem, na música ou até mesmo ao fazer café, sendo que existia um problema central para a compreensão do funcionamento cerebral: os

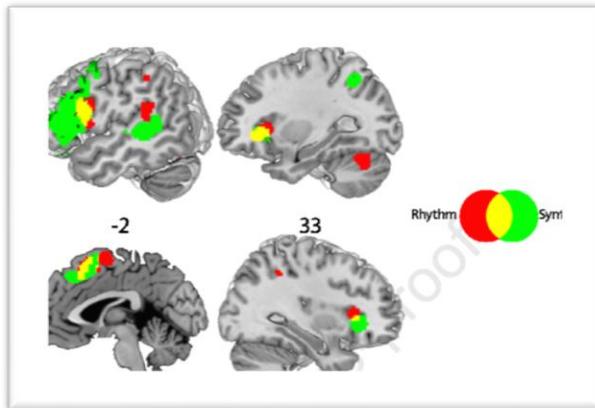
modelos da época, baseados na associação estímulo-resposta, explicavam ações como uma simples sucessão de eventos, mas falhavam em não reconhecer a importância dos objetivos principais e subobjetivos que sustentam ações mais complexas. Fitch e Martins (2014), com base nessa literatura, revisaram as teorias de Lashley à luz de dados recentes da neurociência cognitiva, investigando se a estrutura hierárquica do processamento em linguagem (como o agrupamento sujeito-verbo-objeto), música (harmonia e ritmo) e ação (atividades motoras complexas) compartilha mecanismos cognitivos e neurais, envolvendo especificamente a área de Broca.

Fitch e Martins (2014) usaram informações de neuroimagem (fMRI e EEG), estudos de lesões cerebrais e análises comparativas do córtex pré-motor lateral e da área de Broca (BA 44/45) com o objetivo de investigar os correlatos neurais da música e da linguagem. Os principais resultados desse estudo são: (1) atividades como linguagem e música podem compartilhar mecanismos neurais em comum com a ação hierárquica, uma vez que elementos menores (palavras e notas musicais) são organizados em estruturas maiores (frases e melodias); (2) a área de Broca (BA 44/45) parece ser um centro fundamental para a organização hierárquica de sequências (essa região parece não só responder à sintaxe linguística, mas também à estruturação de sequências na música e em ações organizadas. Portanto, é proposto que a área de Broca é um ‘‘*Buffer Escaneável*’’, um espaço de memória temporária que armazena e organiza elementos para formar sequências hierárquicas complexas; (3) A sintaxe da linguagem e da música pode ter raízes na sintaxe da ação. Essa hipótese, baseada em Lashley (1951), considera a organização hierárquica das ações motoras um princípio fundamental do cérebro. Os autores sugerem que a música e a linguagem poderiam ter se desenvolvido a partir dessa ‘‘sintaxe da ação’’ (a capacidade de planejar e organizar sequências de ações), o que explicaria a sobreposição dessas bases neurais, especialmente na área de Broca.

Heard e Lee (2020) realizaram uma metanálise quantitativa de neuroimagens, usando estimativa de probabilidade de ativação (*Activation Likelihood Estimate* - ALE). O objetivo deles foi localizar estruturas neurais compartilhadas envolvidas em um conjunto representativo de ritmo musical (batida, ritmo e métrica) e sintaxe linguística (*merge*, *movement* e *reanálise*). Assim, buscaram identificar recursos de ritmo e sintaxe independentemente, por meio de análises de ALE dentro de cada domínio. Em seguida, para garantir que os mapas de ativação representassem igualmente cada subprocesso do ritmo (métrica, batida, ritmo) e da sintaxe (*merge*, *movement*, *reanálise*), o número de experimentos incluídos para cada subprocesso foi contrabalançado. Por fim, as regiões principais de ritmo e sintaxe foram sobrepostas.

As evidências encontradas por Heard e Lee (2020) foram que o ritmo envolveu uma rede sensório-motora bilateral em todo o cérebro, dando ênfase nos giros frontais inferiores, área motora suplementar, giros temporais superiores/junção temporoparietal, ínsula, lóbulo intraparietal e putâmen. Por outro lado, a sintaxe ativou principalmente a rede sensório-motora esquerda, incluindo o giro frontal inferior, giro temporal superior posterior, córtex pré-motor e área motora suplementar. Os autores observaram regiões sobrepostas no giro frontal inferior esquerdo, na área motora suplementar esquerda e na ínsula bilateral. Essa sobreposição é interessante, pois são substratos neurais envolvidos no processamento de hierarquia temporal e na codificação preditiva, resultados que vão ao encontro de outros estudos (codificação preditiva: Koelsch *et al.*, 2019; Rohrmeier e Koelsch, 2012; Repp, 2005; hierarquia temporal: Fitch e Martins, 2014; Jackendoff, 2009; Lashley, 1951).

**FIGURA 12** – Sobreposição Neural entre Análise de Sintaxe e Ritmo



**Fonte:** Retirada do texto de Heard e Lee (2020).

Com base na ARRH, sugere-se que déficits comuns no tempo podem estar amplamente associados a um ou mais dos mecanismos já apresentados. Ladányi *et al.* (2020) também propõem que o processamento hierárquico prejudicado pode resultar em déficit no processamento das estruturas rítmicas e na sintaxe da linguagem. Em suma, o comprometimento de um ou mais desses mecanismos pode estar relacionado ao processamento atípico de fala/linguagem, ao processamento de ritmo e a comprometimentos motores, sem deixar de considerar fatores ambientais e genéticos. É importante destacar que déficits de sincronização (Zelaznik e Goffman, 2010) ou em tarefas de batida (Vuolo *et al.*, 2017) não são observados em todos os casos de crianças com problemas de aprendizagem ou de linguagem.

## 8. Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL)

*“O cérebro humano, especialmente em uma idade precoce, não trata a linguagem e a música como domínios estritamente separados, mas sim trata a linguagem como um caso especial da música.”* (Koelsch, 2011, p. 16)<sup>30</sup>

De acordo com a teoria linguística, na vertente gerativista, o ser humano é dotado de uma língua interna que se desenvolve mediante a experiência linguística, de forma a convergir para o conhecimento da gramática de uma língua particular (Chomsky, 1986; 1995). Marcos do desenvolvimento linguístico comuns a diferentes línguas remetem a um programa maturacional compartilhado pelos seres humanos, enquanto aspectos específicos da morfologia ou da sintaxe podem ter um curso de desenvolvimento diferenciado entre línguas (Corrêa, 2019). O desenvolvimento da sintaxe musical teria, de forma análoga, um curso maturacional e outro determinado por diferenças culturais. Contudo, ainda que o campo da aquisição da língua materna seja amplamente estudado, estudos sobre o desenvolvimento musical são escassos (Marin, 2009). Assim sendo, diante da proposta de compartilhamento neural, cabe explorar uma possível relação entre linguagem e música em crianças com Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem, focada nas habilidades rítmicas.

O Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL), anteriormente conhecido como Distúrbio Específico de Linguagem (DEL<sup>31</sup>), caracteriza-se por dificuldades linguísticas na ausência de comprometimentos que poderiam provocar consequências nas habilidades linguísticas, como deficiências de inteligência, déficit de audição, função motora articulatória comprometida, lesão cerebral, entre outras. Crianças com TDL adquirem a linguagem mais tarde, apresentando dificuldades de compreensão e produção e têm um pior desempenho em sentenças de maior complexidade sintática, como orações relativas de objeto (Friedmann, Belletti & Rizzi, 2009).

<sup>30</sup> “The human brain, particularly at an early age, does not treat language and music as strictly separate domains, but rather treats language as a special case of music.”

<sup>31</sup> O que é hoje conhecido como Transtorno do Desenvolvimento da linguagem tem sido nomeado de maneiras diversas ao longo da história (Jakubowicz, 2006/2018). O termo “*Specific Language Impairment*” (SLI), introduzido por Fey e Leonard (1983), adquiriu estabilidade na literatura científica e foi traduzido para o português brasileiro como Déficit/Distúrbio Específico da linguagem (DEL). Contudo, a partir de 2017, essa terminologia foi alterada, juntamente com alguns dos critérios de inclusão, em função do Consórcio CATALISE (Bishop *et al.*, 2016; 2017), passando a ser *Developmental Language Disorder* (DLD), termo traduzido no Brasil como Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem (TDL).

Qualquer criança típica por volta dos dois anos é capaz de produzir enunciados de duas ou mais palavras que revelam uma estrutura hierárquica. As distinções morfológicas começam a partir do segundo ano de vida e a partir dos 3 anos de idade sentenças complexas são produzidas. Aos cinco anos, a gramática já foi adquirida e pertence à variedade linguística à qual a criança é exposta em casa. Ou seja, a criança adquire a variedade que predomina na família, enquanto na escola ocorre a introdução da língua padrão (escrita) e o desenvolvimento de habilidades discursivas (Corrêa, S/D).

No entanto, bebês entre 18 e 36 meses de idade podem apresentar um desenvolvimento lexical atípico, lento, mesmo sem lesões cerebrais, deficiência intelectual ou perda auditiva. Essas crianças podem apresentar a linguagem expressiva e/ou receptiva reduzida. Por mais que muitas crianças tenham uma melhora lexical aos três anos, outras podem apresentar dificuldades que persistem ao longo da vida. O TDL é uma condição heterogênea e os casos diferem muito entre si; as dificuldades de linguagem podem afetar a produção e/ou a compreensão, com variados graus de severidade, dependendo de cada caso. Ademais, crianças com TDL podem apresentar problemas de aprendizado, dificuldades na produção e/ou compreensão da morfossintaxe, vocabulário limitado, compreensão sintática prejudicada, além de dificuldades comportamentais e de adaptação social (Sansavini *et al.*, 2021).

As manifestações do TDL podem atingir diferentes domínios linguísticos, como os domínios sintático, fonológico, lexical e pragmático (Corrêa e Augusto, 2013). Crianças com TDL também podem apresentar déficits na interface sintaxe-semântica/pragmática. Essas crianças demoram mais para adquirir suas primeiras palavras e parecem usar uma variedade mais limitada de verbos quando comparadas a crianças típicas. Ademais, crianças com TDL necessitam de maior exposição a palavras novas quando comparadas a crianças típicas, não sendo tão eficientes em manter as palavras novas na memória de longo prazo, particularmente os verbos (Bishop, 2017).

As dificuldades de linguagem também variam de acordo com a língua em aquisição. No inglês, as crianças apresentam mais problemas no domínio verbal (tempo/verbo) em comparação com o domínio nominal. Crianças gregas apresentam dificuldades no domínio verbal (concordância sujeito-verbo) e nominal (produção de pronomes clíticos, marcação de genitivo em artigos definidos) (Bishop, 2017). Quanto às crianças falantes de português europeu, estas apresentam dificuldades com a estrutura funcional e categorias funcionais, têm limitações na utilização de morfemas gramaticais, na morfologia nominal e na produção de artigos (Branco *et al.*, 2011).

No português brasileiro, tal como em outras línguas, as crianças com TDL apresentam dificuldade em sentenças de alto custo, como relativas de objeto, interrogativas QU. Além disso, têm dificuldades na concordância nominal, como omissões do determinante (Corrêa e Augusto, 2013; Vicente, 2024).

Corrêa e Augusto (2013) argumentam que indivíduos com TDL apresentam maior dificuldade na compreensão de sentenças de alto custo, em razão da maior exigência do processador linguístico em manter, temporariamente, representações parciais de palavras ou sintagmas ainda não integrados, armazenadas na memória de trabalho. Dificuldades no reconhecimento de informação sintaticamente relevante para lidar com dependências de longa distância, aliadas à sobrecarga na memória de trabalho que essas estruturas impõem, podem explicar o custo diferenciado da compreensão (e/ou da aquisição) dessas estruturas para crianças com TDL.

Crianças com TDL apresentam dificuldade no reconhecimento, recuperação, formulação e produção das palavras, refletindo uma “lentidão” cognitiva que pode estar relacionada a falhas nas representações semânticas e na organização cognitiva. Na compreensão, observa-se também dificuldade em entender sentenças ou palavras específicas como marcadores espaciais ou temporais (Crestani *et al.*, 2013).

Em suma, crianças com TDL podem apresentar prejuízos tanto na percepção quanto na produção da linguagem falada (Bishop *et al.*, 2016; Leonard, 2014), além de dificuldades motoras e auditivas.

A identificação precoce do TDL possibilita a inclusão rápida em intervenções clínicas, reduzindo, por meio da reabilitação, as dificuldades e o risco de sequelas posteriores. Diante disso, é essencial identificar preditores precoces antes do momento do diagnóstico, bem como possíveis fatores de risco que possam levar ao TDL (Sansavini *et al.*, 2021). Um ritmo atípico, no sentido de uma nítida dificuldade de pulsação, tanto de produção quanto de percepção, pode ser um marcador significativo de problemas de linguagem, visto que estudos mostram que crianças com problemas de linguagem também apresentam comprometimento na percepção do ritmo e da métrica musical (Weinert, 1992; Corriveau e Goswami, 2009). A seguir, serão apresentados alguns desses estudos, que buscam relacionar as habilidades rítmicas musicais às habilidades linguísticas em crianças diagnosticadas com TDL.

## 8.1 TDL e Música

Evidências indicam que crianças com TDL e dislexia demonstram sensibilidade à estimulação rítmica externa durante o processamento subsequente da linguagem (Bedoin *et al.*, 2016). Diante disso, hipóteses sugerem que déficits no processamento de ritmo podem causar dificuldades no processamento preciso de sinais auditivos relevantes para a fala, interferindo na percepção da linguagem ao comprometer o processamento suprassegmental necessário para extraír sílabas e palavras do fluxo da fala (Thomson e Goswami, 2008; Corriveau e Goswami, 2009). Além disso, pode ocorrer prejuízo às representações fonológicas relevantes para a leitura (Muneaux *et al.*, 2004).

As crianças com TDL têm alta chance de apresentar dificuldades em processar padrões sonoros e rítmicos, refletindo um déficit nas oscilações neurais e no acoplamento sensório-motor, o que poderia acarretar dificuldades de discriminação de sons, articulação correta das palavras, entre outras (Fiveash *et al.*, 2021). Dificuldades e problemas na percepção do tempo de ascensão das sílabas, na identificação de estresse nas palavras e na amostragem temporal da envoltória da fala foram encontrados em indivíduos com dislexia e TDL, evidenciando deficiências no processamento auditivo preciso e na sincronização/arrastamento de oscilações neurais (Corriveau *et al.*, 2007; Cumming, Wilson e Goswami, 2015; Richards e Goswami, 2015).

Diversos estudos abordam como crianças com TDL apresentam dificuldades tanto no ritmo da fala quanto no processamento do ritmo musical (Cumming, Wilson, Leong, *et al.*, 2015; Sallat e Jentschke, 2015), destacando também maior dificuldade em batidas rítmicas precisas (Corriveau e Goswami, 2009).

Bedoin *et al.* (2016) buscaram verificar se o estímulo rítmico regular poderia proporcionar algum benefício para o processamento linguístico, ao invés de ser um custo subsequente ao estímulo irregular. Para isso, dezesseis crianças com TDL e dezesseis controles foram comparados. Como condições experimentais, foram levadas em consideração a sequência musical regular e uma cena sonora ambiental, que não tinham uma regularidade temporal específica ou algum padrão rítmico previsível, referidas como "condição de linha de base" comparativa.

O experimento utilizou 48 sentenças apresentadas em blocos de seis, com três sentenças gramaticalmente corretas e outras 3 incorretas (violação de gênero, número, pessoa). Os participantes ouviram uma das duas sequências de *primes* (sinal rítmico com uma sequência de marcha por 3 minutos – uma era regular e outra irregular), que foram aplicadas antes de cada bloco de sentenças. A ordem foi randomizada. Assim, as crianças

ouviram as músicas enquanto viam uma imagem no monitor (um instrumento musical tocando música), em seguida, liam frases que apareciam na tela.

Os participantes realizaram tarefas de julgamento de gramaticalidade. Os dados indicaram que para ambos os grupos o desempenho no julgamento foi melhor após a escuta das sequências de estímulos rítmicos regulares em comparação aos irregulares (condição linha de base). O efeito para as crianças com TDL foi significativo, indicando um melhor desempenho para os controles (Bedoin, Brisseau, Molinier, Roch, Tillmann, 2016). Especificamente, as crianças do grupo TDL apresentaram mais dificuldade nas tarefas que exigiam a percepção e produção de padrões rítmicos. Esse resultado dialoga com uma possível associação entre percepção rítmica e as habilidades linguísticas comprometidas no TDL.

Sallat e Jentschke (2015) investigaram se crianças com TDL diferem de crianças com desenvolvimento típico na percepção musical. Foram avaliadas habilidades de organização do *pitch* (tarefa de percepção melódica), organização temporal (tarefa de percepção rítmico-melódica) e reconhecimento de sequências musicais na memória de longo prazo (tarefa de reconhecimento de melodia). Aspectos como familiaridade e características das melodias (andamento, som e altura) foram manipulados. A previsão era de que crianças com TDL tivessem um desempenho inferior ao grupo de mesma idade de crianças típicas (controles) e mais semelhante ao de crianças mais novas com desenvolvimento típico de linguagem. Diante disso, três grupos de crianças foram investigados, um com crianças com TDL ( $n = 29$ ), outro com controles de Idade Comparável (“IC”,  $n = 39$ ), e o terceiro com crianças mais novas (“MN”,  $n = 13$ ), que tinham habilidades linguísticas comparáveis ao grupo TDL. A proposta do estudo foi buscar um padrão que poderia sugerir uma relação entre a percepção musical e habilidades linguísticas nas crianças com TDL, indicando uma possível presença das habilidades de percepção musical durante a aquisição da linguagem.

Ainda na pesquisa, os testes de habilidade linguística envolveram tarefas de compreensão da linguagem, de produção da fala e de memória de trabalho, além de teste para a inteligência não verbal (Bateria de Avaliação de Kaufman para Crianças, K-ABC). Os estímulos musicais nas tarefas de percepção melódica, rítmico-melódica e reconhecimento da melodia tinham as frases iniciais das rimas de cantigas infantis. As crianças ouviram e cantaram o início das canções infantis de quatro a seis vezes. As tarefas foram interligadas numa atividade de jogo, na qual a criança informava, apertando um botão respectivo, se a música estava correta (não modificada) ou incorreta (modificada). Dentro de cada condição, 20 estímulos foram apresentados, 10 com

melodias não modificadas e 10 alteradas. Assim, a tarefa visou testar a capacidade de reconhecer a preservação ou violação de uma melodia, independentemente da alteração de tom, tal como na linguagem, em que sentenças precisam ser reconhecidas como invariantes apesar das variações de fala (Sallat e Jentschke, 2015).

Sallat e Jentschke (2015) concluíram que as crianças com TDL apresentaram um desempenho significativamente abaixo da média para a idade em todos os subtestes de linguagem. Nas tarefas de percepção melódica, elas tiveram desempenho inferior aos controles pareados por idade (IC) em todas as condições. Houve uma diferença significativa entre os TDL com o grupo IC na condição melódica e na pontuação somada das três condições. O desempenho das crianças com TDL foi semelhante ao das crianças mais novas (MN) com desenvolvimento típico, e ambos os grupos de controle não mostraram diferenças significativas entre si. O grupo IC teve um desempenho superior ao grupo TDL em todas as condições, com ênfase para a condição padrão e rítmica comparável. Por fim, na tarefa de reconhecimento de melodia, os controles mais jovens tiveram um maior nível de desempenho, em seguida, os controles pareados por idade, e os TDL tiveram a menor pontuação. Portanto, as crianças atípicas tiveram um desempenho significativamente menor nas tarefas de melodias desconhecidas e elas tiveram mais facilidade nas tarefas de processamento de *pitch* do que nas de ritmo (Sallat e Jentschke, 2015).

Esse estudo trouxe evidências de que crianças com TDL têm mais dificuldade na detecção de violações na melodia (*pitch*) ou ritmo do que as crianças típicas (pareadas por idade), sendo estes resultados semelhantes ao de outras pesquisas (Corriveau *et al.*, 2007; Cumming, Wilson e Goswami, 2015 e Clement *et al.*, 2015), o que sugere que crianças com TDL têm dificuldades em perceber mudanças no tom e no ritmo de frases musicais.

Jentschke, Koelsch, Sallat e Friederici (2008) investigaram o processamento sintático musical em crianças com TDL usando um paradigma de sequências de acordes e componentes específicos do ERP (potencial cerebral evocado por eventos), como o ERAN (*Early Right Anterior Negativity*), o LPC (*Late Positive Component*, também conhecido como P600, associado ao processamento de anomalias sintáticas) e o N5 (associado a uma negatividade tardia, que ocorre aproximadamente 500 ms após a apresentação de um estímulo. O N5 é bem relevante no processamento sintático musical). Observe-se que, por mais que o ERAN seja predominantemente do lado direito, os autores propõem que ele pode se relacionar com a linguagem (processada no hemisfério esquerdo) por meio do processamento sintático compartilhado e de uma interação entre

hemisférios. Portanto, o ERAN poderia refletir alguns processos sintáticos compartilhados entre os processos linguísticos e musicais, sugerindo que o hemisfério direito pode estar envolvido na detecção de irregularidades sintáticas musicais e linguísticas, enquanto o esquerdo pode trabalhar em conjunto com o direito para processar a sintaxe de modo mais amplo. Além disso, a detecção de irregularidades musicais por meio do ERAN pode estar conectada aos processos linguísticos do hemisfério esquerdo. Desse modo, mesmo estando lateralizado no hemisfério direito, o ERAN pode contribuir para o processamento sintático linguístico através de redes neurais inter-hemisféricas.

Todos os componentes deste estudo de Jentschke e colaboradores (2008) refletiram as respostas cerebrais a estímulos musicais que violam expectativas sintáticas. A hipótese proposta pelos autores era que os recursos neurais envolvidos no processamento sintático-musical se sobreponem aos recursos neurais envolvidos no processamento da sintaxe linguística. Assim, diante dessa possível sobreposição, esperava-se que crianças com TDL apresentassem dificuldades tanto no processamento linguístico quanto no musical. O estudo foi realizado com crianças alemãs, destrás, de 4 a 5 anos de idade, divididas em dois grupos, um com indivíduos com distúrbio de linguagem ( $n = 15$ ) e outro de controles com desenvolvimento típico ( $n = 20$ ). As habilidades linguísticas foram avaliadas com um teste padronizado de desenvolvimento de linguagem (SETK 3-5). As habilidades musicais foram medidas com testes de diferentes classes de habilidades musicais (por exemplo, memória para frases musicais, reprodução de ritmos, etc.).

Os dados de estímulos musicais envolveram as crianças ouvirem dois tipos de sequências, cada uma composta por cinco acordes. As primeiras quatro funções de acordes eram as mesmas em ambas as sequências: tônicos, subdominantes, supertônicos e dominantes; contudo, a sequência tipo A terminava com um acorde tônico harmonicamente regular, enquanto a sequência tipo B terminava com um acorde supertônico ligeiramente irregular. Ademais, os acordes tiveram ordens de reprodução aleatórias. Ressalta-se que, nesta pesquisa, a irregularidade sintática musical foi investigada de forma isolada, sem estar associada a desvios físicos no som. Em outras palavras, as mudanças não ocorreram nas propriedades acústicas de um som, como o volume e o timbre, mas por estarem em uma posição menos esperada na progressão harmônica. Por fim, as respostas ERP dos dois grupos foram comparadas para identificar diferenças no processamento sintático musical (Jentschke, Koelsch, Sallat e Friederici, 2008).

Jentschke, Koelsch, Sallat e Friederici (2008) demonstraram que acordes específicos indicam que crianças de 4 a 5 anos já possuem representações cognitivas das regularidades sintáticas da música tonal ocidental, sendo capazes de processar a música de forma rápida e precisa, em conformidade com essas representações. No grupo controle, as crianças apresentaram o componente ERAN, indicando ausência de dificuldades no domínio da linguagem ou da música. Em contraste, crianças com comprometimento linguístico não exibiram ERAN significativo diante de violações musicais, sugerindo também dificuldades no processamento sintático musical. Esses resultados corroboram a hipótese de que, em crianças com TDL, as deficiências no processamento sintático musical são comparáveis às deficiências no processamento sintático linguístico, indicando que a sintaxe musical e linguística compartilha sistemas neurais comuns.

Clément, Planchou, Béland, Motte e Samson (2015) investigaram se os déficits na linguagem expressiva (produção da fala) poderiam se estender ao domínio musical. O estudo se destacou por utilizar tarefas que não exigiam produção verbal, exceto pelo solfejo da sílaba “La”, partindo da hipótese de que letras de melodias poderiam interferir nas atividades musicais. Para isso, os autores avaliaram as habilidades de canto em dois grupos de crianças: um grupo TDL (8 crianças) e outro de 15 crianças com desenvolvimento típico, sendo que todas as crianças foram pareadas por idade, inteligência não verbal, e nenhuma delas tinha recebido treinamento musical.

A tarefa de canto proposta pelos estudiosos se baseou em uma atividade lúdica com duas tarefas, uma de correspondência de tom e outra de reprodução melódica. Na primeira, as crianças tiveram que cantar melodias curtas que eram familiares ou desconhecidas. Na segunda tarefa, um grupo de adultos foi responsável por classificar a qualidade das produções cantadas das crianças segundo uma escala de classificação. O jogo lúdico funcionava da seguinte maneira: cada jogador tinha um personagem (avatar) e o objetivo era chegar ao fim do percurso por meio do lançamento de um dado virtual. Cada vez que o participante pousava num determinado espaço azul, tinha que executar uma tarefa de canto, tal como cantar uma nota musical isolada (correspondência de tom) ou cantar uma sequência melódica. Vale observar que, neste estudo, na tarefa de correspondência de tom, uma nota musical era reproduzida duas vezes e a criança, em seguida, precisava cantar o determinado tom usando a sílaba ‘La’. Já na reprodução melódica, o participante ouvia duas vezes a melodia, e depois precisava repeti-la, nesse caso, cantarolando-a com a sílaba “La”. Ao todo, foram seis melodias, duas conhecidas associadas a letras, duas conhecidas não associadas a letras e duas desconhecidas (Clément, Planchou, Béland, Motte e Samson, 2015).

Os dados obtidos sugeriram que na tarefa de reprodução melódica, o canto de crianças com TDL recebeu classificações médias mais baixas do que o das crianças controle, e as crianças com TDL tiveram maior número de erros na tarefa de correspondência de tom. Além disso, os resultados revelaram que seis das oito crianças com comprometimento de linguagem foram significativamente piores na tarefa de reprodução melódica, enquanto as outras duas crianças não foram prejudicadas. Elas tiveram maiores pontuações globais e não foram significativamente prejudicadas na percepção musical. Essas seis crianças apresentaram um déficit em melodias cantadas associado (para 5 das 6 crianças) a um déficit na percepção musical. Tais resultados indicam, segundo os autores, que as crianças com TDL têm deficiências na produção musical, discutidas à luz de uma disfunção auditivo-motora geral.

Cumming, Wilson e Goswami (2015) buscaram investigar se existe uma relação entre o processamento auditivo básico e a sensibilidade à estrutura prosódica. O estudo dos respectivos autores propõe a Hipótese da Frase Prosódica (*Prosodic Phrasing Hypothesis*), que sugere que as dificuldades gramaticais no TDL não são exclusivamente um problema de sintaxe e podem ser explicadas por déficits perceptivos relacionados à prosódia global da fala. Por exemplo, os déficits perceptivos na detecção do tempo de elevação da amplitude (ART - *Amplitude Rise Time*<sup>32</sup>) e da duração do som podem comprometer a percepção do estresse silábico e da prosódia da fala, afetando o desenvolvimento da morfossintaxe em crianças com TDL. Para isso, ao todo, 95 crianças por volta de nove anos de idade foram testadas, sendo um grupo formado por controles típicos (N=50) e de SLI<sup>33</sup> (dois subgrupos: SLI puro, ou seja, sem dificuldades fonológicas ou de leitura, N=16; e SLI com dificuldades fonológicas e de leitura, N=15).

Cumming, Wilson e Goswami (2015) aplicaram em ambos os grupos tarefas de processamento auditivo (ART, duração do som e *pitch*) e sensibilidade prosódica (*DeeDee Task* e percepção de estresse silábico), sendo que os testes auditivos foram aplicados no primeiro ano e os prosódicos no segundo ano. Nos testes de sensibilidade prosódica, especificamente, na tarefa de percepção de estresse, as crianças ouviram uma palavra quatro vezes, duas versões estavam com acentuação correta e duas com a errada. As crianças precisaram indicar se as versões eram iguais ou diferentes (p.e. **Difficulty** ou

<sup>32</sup> O *Amplitude Rise Time* (ART) refere-se ao intervalo temporal entre o início da emissão de um sinal acústico e o ponto em que este alcança sua amplitude máxima.

<sup>33</sup> Antes do projeto CATALISE, o diagnóstico de SLI (*Specific Language Impairment* / DEL Distúrbio Específico de Linguagem) era feito com critérios mais restritivos. Após isso, a terminologia mudou para DLD (*Developmental Language Disorder* / TDL Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem), e os critérios se tornaram mais inclusivos (Bishop, 2017).

diFFiculty). Já no *DeeDee Task*, as crianças ouviram nomes e títulos familiares de filmes, livros infantis, que foram apresentados usando a sílaba reiterada “dee”. Quatro ordens dessa sílaba foram criadas (tônico “DEE” e átono “dee”, DEE dee, dee DEE, DEE DEE, dee dee), sem incorporar pistas para constituintes de nível frasal. Essas sílabas foram combinadas na sequência mais apropriada para cada título (como o exemplo apresentado no artigo: “Harry Potter”, a criança ouvia “DEE dee DEE dee”), e a correspondência dependia de um padrão de estresse abstrato com o padrão de estresse rítmico que a criança já tinha armazenado para cada alvo (Cumming, Wilson e Goswami, 2015).

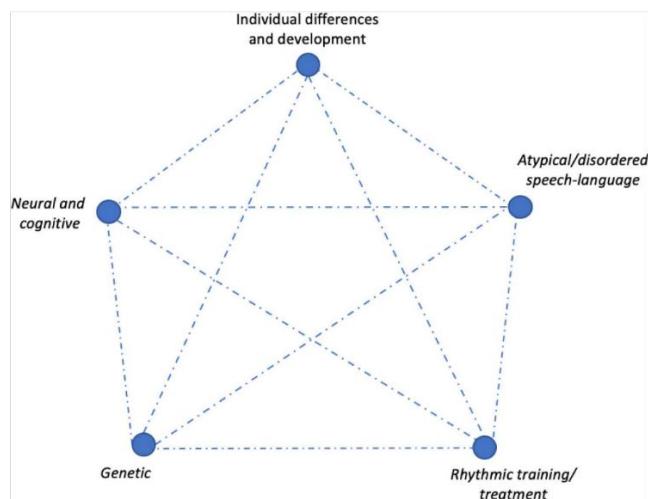
Nos testes de processamento auditivo, a tarefa de ART buscou avaliar a sensibilidade quanto ao tempo de elevação da amplitude\* do som para a percepção do ritmo da fala. Assim, os participantes precisaram escutar três estímulos (A-X-B) e precisavam identificar qual dos dois primeiros sons era diferente do terceiro, com base na velocidade do aumento da amplitude sonora. Na tarefa de duração de som, as crianças escutaram estímulos e identificaram qual som era mais longo. Na tarefa de *Pitch* (F0) os participantes escutaram três estímulos e tinham que identificar qual dos sons apresentados tinha um aumento de *pitch* mais lento.

Os resultados apontaram que o grupo TDL teve significativamente mais dificuldades na percepção de prosódia e estresse silábico comparado ao grupo controle. No *DeeDee*, ocorreu uma diferença significativa de 60% vs. 70,8% de acertos; o grupo TDL teve o desempenho inferior. Já quanto à comparação entre os subgrupos de TDL, não ocorreram diferenças significativas. Na tarefa de percepção de estresse silábico, as crianças com problema de linguagem tiveram mais dificuldade em encontrar e perceber a ênfase correta nas sílabas e o grupo de TDL com problemas fonológicos ou de leitura teve um desempenho ainda pior do que os TDL puros. Isso sugere que dificuldades fonológicas e/ou de leitura podem agravar os déficits prosódicos. Na tarefa ART todas as crianças com TDL tiveram dificuldade com ART na fala, indicando uma sensibilidade reduzida ao ritmo da fala e o grupo TDL com dificuldades fonológicas/leitura teve déficits adicionais na percepção do *pitch* (f0), enquanto o TDL puro não.

Por fim, Cumming, Wilson e Goswami (2015) concluíram que as crianças com TDL apresentam déficits significativos na percepção prosódica, os quais afetam padrões rítmicos abstratos e também a detecção do estresse silábico. Além disso, esses déficits podem estar associados a dificuldades no processamento auditivo, e os prejuízos perceptivos na prosódia global da fala podem explicar as falhas gramaticais observadas no TDL, questionando, assim, explicações unicamente sintáticas. Por esse motivo, um treinamento baseado em ritmo e prosódia poderia servir como intervenção e auxiliar na

reabilitação das crianças com TDL. A imagem a seguir apresenta uma representação dos cinco diferentes tipos de evidências cognitivas e biológicas que devem ser considerados para uma compreensão mais ampla e contextual da música e do ritmo da fala.

**FIGURA 13** – Inter-relações entre Música e Linguagem



**Fonte:** Fiveash, Bedoin, Gordon, e Tillmann (2021).

Richards e Goswami (2015) investigaram se, em crianças com TDL, déficits no processamento acústico poderiam estar relacionados a dificuldades no processamento do estresse lexical e frasal, com foco específico na percepção do tempo de elevação da envoltória de amplitude do sinal de fala (*the amplitude envelope of the speech signal*). Como fundamentação teórica, Richards e Goswami (2015) se basearam em duas principais abordagens teóricas: a Hipótese do Processamento Auditivo Rápido (RAP), de Tallal e Piercy (1973), e os Modelos de Processamento da Fala em Múltiplas Escalas Temporais (Poeppel *et al.*, 2008).

Quanto à primeira hipótese, é sugerido que crianças com dificuldades linguísticas apresentam déficits na percepção de estímulos auditivos rápidos e transitórios, como, por exemplo, as crianças com TDL que tiveram dificuldade em discriminar a ordem temporal dos sons curtos (75 ms) ao serem apresentadas com intervalos interestimulos curtos – as crianças típicas têm um desempenho semelhante quando os intervalos são mais longos (Para uma revisão, ver Mcarthur e Bishop, 2001; Rosen, 2003). Já a segunda abordagem trata, resumidamente, de um modelo no qual o córtex auditivo analisa a fala usando múltiplas janelas temporais. Esse modelo é complementar ao primeiro (RAP) ao apontar que a percepção da envoltória de amplitude é essencial para a segmentação da fala e a percepção do estresse linguístico.

Para o estudo, os autores exploraram as habilidades perceptivas acústicas de crianças com TDL e, depois, a relação entre a percepção acústica e o processamento do estresse lexical. Em um grupo de vinte e duas crianças (de 8 a 12 anos de idade, sendo 12 com TDL e 10 neurotípicas), cada uma realizou testes psicoacústicos, como discriminação de tempo de elevação da envoltória de amplitude (*Rise Time*), discriminação de frequência (variações na altura do som), discriminação de duração (percepção de diferenças na duração dos estímulos auditivos) e discriminação de intensidade (a sensibilidade a variações na intensidade do som). Também realizaram testes de Percepção de Estresse Linguístico (lexical).

Os resultados apontaram que as crianças com TDL apresentam maior dificuldade na percepção de padrões de estresse linguístico quando comparadas aos controles, sendo possível que essa dificuldade esteja relacionada a um déficit na percepção acústica da envoltória de amplitude. Portanto, o grupo TDL teve dificuldade tanto nas tarefas acústicas quanto na percepção de estresse, o que sugere que a baixa sensibilidade ao tempo de elevação da amplitude e à frequência sonora contribui significativamente para as habilidades de percepção do estresse em crianças com TDL. Ademais, um outro fator cognitivo que também está implicado é a memória fonológica.

Corriveau e Goswami (2009) investigaram se crianças diagnosticadas com TDL, sem nenhuma outra dificuldade adicional (TDAH, TEA, etc.), para além das dificuldades linguísticas, também apresentam dificuldades em sincronizar seus movimentos rítmicos com um estímulo auditivo. O objetivo dos autores vai ao encontro da hipótese de que o déficit na sincronização motora-rítmica poderia estar associado a um déficit no processamento temporal da fala. Para essa pesquisa, os autores tiveram como base metodológica antigos estudos sobre toque ritmado, usando os dedos, em crianças com dislexia (Rivkin *et al.*, 2003; Waber *et al.*, 2000; Wolff, 2002; Wolff *et al.*, 1990).

A tarefa desenvolvida no estudo de Corriveau e Goswami (2009) serviu como uma das principais referências metodológicas para a presente dissertação. Assim, a atividade denominada pelas autoras como *Tapping Task* foi reproduzida como uma das tarefas empregadas na investigação aqui conduzida. Essa tarefa foi replicada de forma fiel ao estudo original, sem modificações muito significativas no processo de elaboração. Dessa maneira, a descrição dessa atividade corresponde à Tarefa (2) desta dissertação. No estudo de Corriveau e Goswami (2009), os participantes foram 63 crianças, com idades entre 7 e 11 anos: 21 crianças compuseram o grupo com diagnóstico de TDL, 21 crianças formaram o grupo controle pareado por idade e 21 crianças compuseram o grupo controle pareado por habilidade linguística.

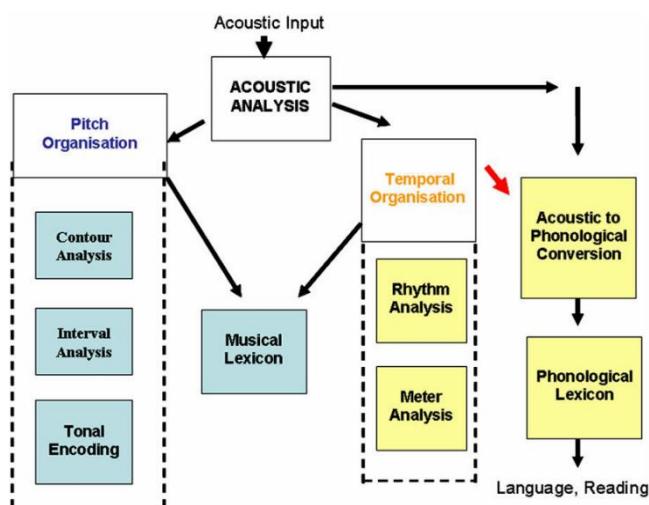
Durante essa atividade, todos os participantes escutaram três vezes uma sequência de batidas marcada no metrônomo, sendo que em cada vez esta ocorria com uma velocidade diferente, 1,5 Hz (666,66 mseg), 2 Hz (500 mseg) e 2,5 Hz (400 mseg). Cada velocidade de batida foi apresentada por 30 segundos (compassado), seguida por um bloco de 30 segundos de silêncio (sem ritmo). Então, por exemplo, uma sequência com a frequência de 1,5 Hz foi tocada por um metrônomo\* durante 30 segundos, seguida de silêncio por mais 30 segundos. As crianças foram instruídas a ouvir os bipes e usar a barra de espaço para bater no mesmo ritmo escutado, e a continuar batendo o mais fielmente possível ao ritmo que até então já tinham sido expostas, quando os 30 segundos compassados acabavam e entravam os 30 segundos sem som. Para registrar as respostas das crianças, a barra de espaço foi configurada para cada pressão acionar uma batida no software de registro. Foi considerado dentro da tolerância o tempo de 0,1 segundos (100 milissegundos).

Cada criança realizou um treinamento antes do começo da tarefa, sendo completado um bloco de prática de 30 segundos, 10 segundos de 2 Hz compassados, 10 segundos de 2 Hz sem ritmo e 10 segundos de 1,5 Hz com ritmo. As variáveis e medidas usadas para calcular foram: 1) ITI (Diferença do Intervalo - *Intertap*) e 2) AT (Antecipação do Tempo). A medida ITI foi usada em ambas as condições (com e sem ritmo) e foi calculada pela diferença entre as respostas consecutivas do participante (resposta 2 - resposta 1, resposta 3 - resposta 2, etc.). O ITI 0 indicava que a batida ocorreu no exato instante do ritmo. Já o AT foi apenas na condição ritmada, medindo a precisão temporal de cada batida do participante em relação ao bipe-alvo. A medida AT foi calculada pela diferença entre a batida ritmada e a resposta do participante (bipe 1 - resposta 1, bipe 2 - resposta 2). Então, pontuações negativas indicavam antecipação e respostas positivas indicavam uma resposta após o bipe ser tocado. O AT 0 indicava que a resposta ocorreu no exato momento da batida do ritmo. Além dessas, a 3) Variabilidade inter-sujeito teve como objetivo medir o grau de variação na precisão do ritmo da criança, sendo calculada por meio do desvio padrão dos intervalos entre as batidas ao longo do experimento. 4) A Diferença de ITI Não Ritmado mediu a precisão do ritmo quando a criança não acompanhava o metrônomo, medindo a precisão nas batidas. Caso o ITI fosse alto, isso indicava que a criança teve dificuldade em manter o ritmo estável sem a referência externa. Por fim, a 5) Variabilidade Inter-sujeito Não Ritmado mediu a variação no ritmo da criança sem o metrônomo, levando em consideração a variação entre diferentes indivíduos na capacidade de manter o ritmo.

Os resultados do estudo indicaram que as crianças com TDL tiveram maiores diferenças de ITI, indicando uma precisão rítmica menor. O grupo TDL também apresentou maior variabilidade inter-sujeito; no caso, as batidas foram mais irregulares e inconsistentes. Quanto ao AT score, as crianças com TDL tendiam a bater antes do ritmo programado, tendo indícios de problemas de sincronização rítmica (Corriveau e Goswami, 2009).

Para finalizar a discussão, será apresentada uma ilustração de um modelo de processamento musical. As caixas em amarelo são hipotetizadas como prejudicadas em crianças com dificuldades de linguagem e alfabetização. Dessa forma, a dificuldade na organização temporal (ritmo e métrica) é considerada um possível fator causal dos problemas fonológicos observados nessas crianças (seta vermelha). Além disso, Corriveau e Goswami (2009) advertem que mais pesquisas são necessárias para verificar se as caixas em azul permanecem preservadas em crianças com dificuldades de linguagem.

**FIGURA 14** – Adaptação do Modelo Modular para o Processamento Musical Proposto por Peretz e Coltheart (2003)



**Fonte:** Corriveau Goswami (2009)

Considerando a possível relação entre as habilidades musicais e o processamento linguístico, há resultados que indicam que a sincronização de batidas está fortemente ligada à alfabetização precoce e às habilidades de linguagem falada (Woodruff Carr *et al.*, 2014). Diversas evidências apontam que o treinamento de ritmo/música melhora o desempenho em várias tarefas de linguagem em indivíduos com desenvolvimento típico

(Linnavalli, Putkinen, Lipsanen, Huotilainen e Tervaniemi, 2018; Patscheke, Degé e Schwarzer, 2016; Rautenberg, 2015). Outros estudos sugerem ainda que músicos têm melhores habilidades de fala e linguagem, como processamento de fala mais eficiente e segmentação de palavras, em comparação com não músicos (Musacchia, Sams, Skoe e Kraus, 2007; Sares, Foster, Allen e Hyde, 2018; Zuk *et al.*, 2013). Ademais, crianças com TDL apresentam dificuldades tanto no processamento do ritmo e da fala quanto na música (Bedoin *et al.*, 2016; Cumming *et al.*, 2015; Sallat e Jentschke, 2015).

Em suma, os estudos apresentados anteriormente apontaram evidências de que crianças com TDL apresentam dificuldades na percepção e na produção rítmica, mais do que nos aspectos melódicos. O presente estudo distingue-se ao investigar as habilidades rítmicas em crianças com TDL falantes do português brasileiro. Este trabalho busca ampliar o escopo das evidências sobre possíveis dificuldades rítmicas em crianças com TDL para uma língua cuja estrutura prosódica e rítmica difere das línguas investigadas nos estudos acima relatados.

## 9. As Habilidades Rítmicas: Estudo Experimental

“O ritmo é a ordem do movimento.” (Platão)

A investigação experimental<sup>34</sup> foi realizada por meio de dois experimentos, com o objetivo de avaliar as habilidades musicais, utilizando tarefas de Discriminação Rítmica e *Tapping Task* (discriminação rítmica), aplicadas em sequência. O primeiro teve como objetivo verificar se as crianças com TDL apresentam desempenho inferior ao grupo controle na percepção musical, especialmente na distinção de sequências rítmicas. A hipótese testada foi que as crianças com transtorno de linguagem, devido a possíveis dificuldades no processamento temporal e rítmico (Corriveau e Goswami, 2009; Cumming *et al.*, 2015; Sallat e Jentschke, 2015), também apresentariam prejuízo na percepção rítmica musical.

A segunda, *Tapping Task*, foi uma tarefa de sincronização rítmica, na qual foi medida a precisão de sincronização (ao apertar o botão do teclado) das crianças com o estímulo sonoro do *software* (batida de metrônomo). Por meio desta atividade, buscou-se verificar a precisão dentro do limite de tolerância (DT de 50 milissegundos), comparando as habilidades rítmicas de crianças com TDL e crianças com desenvolvimento típico. A hipótese central é que o grupo TDL apresenta dificuldade em manter a sincronização e a pulsação do ritmo com estímulo (metrônomo) e sem estímulo.

Nas duas tarefas, observa-se que a sintaxe musical segue os princípios da tonalidade ocidental, caracterizada por padrões profundamente enraizados, como o sistema de tons temperados e a predominância do compasso 4/4. Esses elementos conferem previsibilidade aos estímulos musicais, refletindo a “herança” musical ocidental: a pulsação quaternária, a progressão harmônica de expectativa, tensão e resolução (IV–V–I), os intervalos de tons e semitons e a hierarquia métrica – nem todos os elementos de um compasso são percebidos com igual intensidade, o primeiro tempo apresenta acento mais forte, enquanto os demais tempos, como o segundo, são percebidos mais fracos. Tal previsibilidade facilita a percepção e a antecipação dos eventos rítmicos e harmônicos, influenciando diretamente o desempenho em tarefas de discriminação musical (no caso do estudo, apenas os eventos rítmicos).

---

<sup>34</sup> Parecer da Comissão da Câmara de Ética em Pesquisa da PUC-Rio 51-2025 – Protocolo 45-2025 Proposta: SGOC 547243.

Portanto, os experimentos buscaram comparar as habilidades rítmicas de crianças diagnosticadas com TDL (Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem) e crianças com desenvolvimento típico. Além disso, verificar em que medida a percepção e a produção rítmica atípicas podem servir como um sinal de alerta para o transtorno de linguagem.

## 9.1 Tarefa de Discriminação Rítmica

### *Design*

As variáveis independentes foram “Grupo”, típico e TDL e o tipo de sequência rítmica (semelhante, diferente fácil e diferente difícil). As variações difíceis foram alterações do ritmo base de forma sutil, tendo elementos como ponto de aumento\*, pausas\*, notas prolongadas\* e quiálteras<sup>35</sup>. Além disso, nas sequências rítmicas diferentes ‘Difíceis’, essa mudança sutil ocorreu, por exemplo, com a troca de uma figura rítmica anterior por outra, ou uma prolongação de uma figura musical, trocando uma colcheia por uma semínima, estendendo o tempo da execução, e vice-versa, encurtando-as também. Assim, ocorreu uma alteração mínima na execução, tornando a cadência musical alterada em um determinado trecho quando comparada ao áudio base. Por outro lado, as alterações ‘Fáceis’ foram mais nítidas, com uma mudança nas figuras rítmicas muito clara, por exemplo, duas notas colcheias no lugar de uma semínima. Essa variação é mais perceptível no instante da escuta.

A variável dependente é o número de acertos. As variáveis controladas foram todos os áudios na nota C5\* (dó soprano, uma oitava acima do dó central); todos têm o mesmo compasso\* (4/4); todos têm o mesmo número de sistemas (4 pautas); todas possuem quatro figuras musicais, com os valores rítmicos de semibreves\*, mínimas\*, semínimas\* e colcheias\*; todos estão no tom de Dó maior; as alterações de ritmos foram apenas na segunda e quarta pauta; os áudios não têm marcação de metrônomo e a velocidade de reprodução das notas é 120, valendo a semínima.

---

<sup>35</sup> Quiálteras são grupos de notas que subdividem o tempo de forma diferente da divisão regular do compasso.

**FIGURA 15** – Partitura do Áudio Base 1

**Fonte:** elaboração própria.

A hipótese central é que crianças com TDL também apresentam, além das dificuldades linguísticas, dificuldade na percepção musical rítmica. A previsão foi de que haveria um efeito de grupo com menos acertos no grupo TDL. Buscou-se verificar se essa previsão se aplica às três condições.

### 9.1.1 Método

#### Participantes

Os participantes foram os mesmos nas duas tarefas. O critério de inclusão foi crianças na faixa etária de 7 a 10 anos de idade, sendo um grupo de crianças com desenvolvimento típico (CTL; N= 10, idade 7-10 anos de idade, idade média de 8,8) e outro composto por crianças com diagnóstico de TDL (N= 10, idade 7-10 anos de idade, idade média de 7,8). Dos 10 participantes com TDL, 9 eram diagnosticados com TDL fonológico (um deles apresentava maior dificuldade na morfologia). Todas as crianças foram pareadas com base em sua situação socioeconômica, nível de escolaridade, ausência de experiência formal em práticas musicais e desempenho no MABILIN (como parte da avaliação mais ampla do diagnóstico de TDL), juntamente com outros testes, que contribuíram para a definição do diagnóstico de TDL.

Os critérios de exclusão foram: presença de outras condições neurológicas (como dislexia, autismo, etc.); uso de medicamento que possa influenciar o desempenho cognitivo; deficiência auditiva e outras dificuldades que pudessem impossibilitar a realização das tarefas experimentais.

Das dez crianças que compuseram cada grupo, três eram do sexo feminino e os demais do sexo masculino, mantendo-se a equivalência entre os grupos quanto à variável gênero. No grupo TDL, todas as crianças que participaram recebem intervenção desde cedo, sendo diagnosticadas por volta dos 3 aos 4.

O grupo típico (N= 10) foi formado em uma escola da rede particular de ensino, localizada no bairro de Pendotiba, município de Niterói. Nenhum dos participantes apresentou diagnóstico ou suspeita de problemas de linguagem e, anteriormente ao estudo

desenvolvido, haviam sido testados por meio do conjunto de testes sobre compreensão de estruturas sintáticas de alto custo através do módulo sintático do MABILIN – Módulos de Avaliação de Habilidades Linguísticas (Corrêa 2012; MABILIN, 2025), destinado ao rastreio de problemas de linguagem sugestivos de TDL. Esse módulo se utiliza de uma tarefa de mapeamento sentença-imagem para avaliar a compreensão de sentenças de alto custo, como sentenças passivas (com papéis temáticos reversíveis e irreversíveis), interrogativas QU e orações relativas (de sujeito e de objeto) ramificadas à direita (que modificam o objeto da oração principal) e encaixadas ao centro (que modificam o sujeito da oração principal). O MABILIN é realizado de maneira lúdica. As crianças precisam identificar a imagem que mais combina com o que foi dito oralmente pelo experimentador, em meio a alvos distratores. As crianças que compuseram o grupo controle não apresentaram alteração no MABILIN sugestiva de dificuldade no processamento sintático.

O grupo experimental (N=10) foi composto por crianças em atendimento em uma clínica particular de fonoaudiologia, com consultórios situados nos bairros Méier e Ipanema, no Rio de Janeiro. Todas as crianças apresentavam diagnóstico de TDL, obtido por meio de baterias de testes padronizados, incluindo o MABILIN, bem como por observação clínica.

## Material

Nesta tarefa de discriminação rítmica, foram criados áudios<sup>36</sup> e partituras usando o software musical *Musescore*. Diversas versões foram desenvolvidas, visando realizar a atividade de discriminação de sequências rítmicas, sem a presença de uma melodia.

Esses 18 áudios foram formados por 6 áudios base, contendo, cada um, uma sequência rítmica diferente. Quanto a variáveis independentes, em cada sequência rítmica, foram feitas variações, chamadas de condições Fácil e Difícil. Por isso, os 18 áudios foram divididos em 3 grupos de 6. O primeiro grupo contém as sequências rítmicas principais, que exerceram a função de áudios base para o experimento. O segundo e o terceiro grupo correspondem a variações das sequências rítmicas de base, sendo uma delas classificada como “fácil” e a outra como “difícil”. A seguir, uma ilustração com as três condições, a primeira é a sequência base e as mudanças ocorreram na segunda e quarta pauta.

---

<sup>36</sup> Os áudios foram disponibilizados via link no Google Drive. Anexo E.

**FIGURA 16** – Partitura com as Três Condições, Sequência rítmica 4



**Fonte:** elaboração própria.

Ademais, outros três áudios foram criados, um de cada estímulo (base + igual; base + diferente fácil; base + diferente difícil) para a sessão de treinamento. Esses áudios não foram utilizados durante a aplicação do experimento.

### Procedimento

A execução da tarefa foi realizada em uma sala isolada, seja na clínica fonoaudiológica ou na escola participante. A atividade foi conduzida utilizando um *notebook* e fones de ouvido estéreo, de modo que cada participante ouviu inicialmente a melodia principal por duas vezes, seguida de uma segunda versão, que podia ser idêntica à base ou corresponder a uma das duas variações. Antes da aplicação, foi realizado um treinamento utilizando três áudios criados especificamente para essa etapa.

Durante a tarefa, os participantes foram instruídos a ouvir os estímulos e decidir se os áudios eram iguais ou diferentes, sem ter conhecimento prévio sobre qual variável estavam escutando. Ao final de cada par de áudios, era fornecido um *feedback* indicando acerto ou erro, visando aumentar e refinar a percepção auditiva. Para a análise, considerou-se a precisão das respostas.

Diante disso, as três condições – áudios iguais (dois áudios exatamente iguais), Variação Difícil (áudios diferentes com mudanças sutis) e Variação Fácil (áudios diferentes com mudanças evidentes) – foram executadas em 3 blocos de 6 estímulos, sendo realizada uma randomização estratificada por condição. Em cada bloco, houve dois estímulos para cada condição, duas semelhantes, duas fáceis e duas difíceis, podendo, ou não, pertencer à mesma sequência rítmica. Um intervalo de 5 minutos entre cada bloco foi realizado para evitar o desgaste mental.

O tempo de aplicação durou por volta de 25-30 minutos, pois ocorreram pausas após o término de cada bloco. Bastante animados, todos os participantes relataram

estarem confortáveis durante a tarefa. Os dados coletados de todos os participantes foram mantidos anônimos e nenhum dos resultados será utilizado para além da análise do experimento, respeitando o sigilo das informações e principalmente a privacidade dos participantes.

### 9.1.2 Resultados

O grupo controle (CTL) apresentou desempenho melhor em ambas as condições diferentes. O grupo TDL obteve médias inferiores, sugerindo maior dificuldade na realização das tarefas. Nota-se que a diferença entre as médias dos grupos se apresenta mais acentuada à medida que aumenta a complexidade da tarefa, particularmente na condição Diferente Difícil. Para comparação, o total de média por grupo foi de 4,17 (Desvio Padrão de 0,5) para os controles e 2,77 (Desvio Padrão de 0,45) para o grupo TDL.

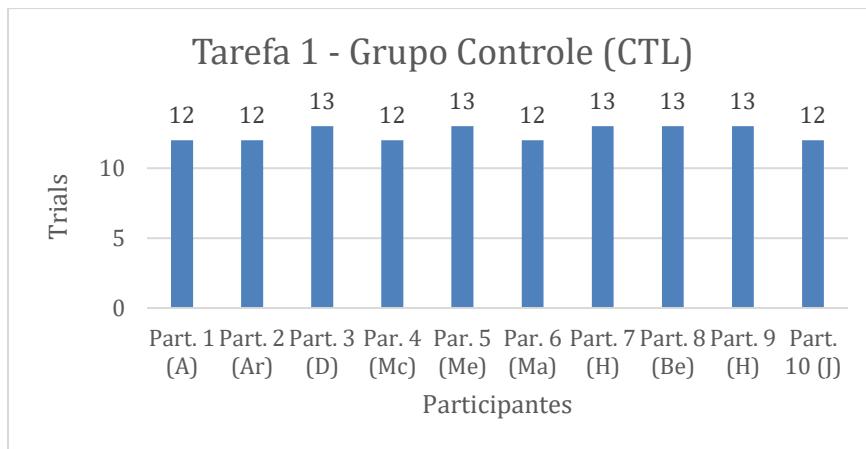
Com relação ao desvio padrão, os dados mostraram, no grupo controle (N=10), um certo padrão entre as respostas de cada criança. Das dez crianças, cinco delas acertaram 13 de 18 estímulos (erraram 5) e as restantes acertaram 12 de 18 (erraram 6). A média ( $\mu$ ) foi de 12,5 com uma taxa de acertos de 69,44. A Tabela 1 apresenta a estatística descritiva do número de acertos obtidos pelos grupos Típico e TDL.

**TABELA 1** – Estatística Descritiva: Acertos em Função de Grupo e Tipo de Sequência (máx. escore = 60; N= 10)

Grupo	Típico			TDL		
Tipo de Sequência	Semelhante	Dif. Fácil	Dif. Difícil	Semelhante	Dif. Fácil	Dif. Difícil
<b>Total de acertos</b>	37 61,6%	47 78,3	41 68,3%	32 53%	28 47%	23 38%
<b>Média</b>	3,7	4,7	4,1	3,2	2,8	2,3
<b>Mediana</b>	4	4,5	4	3	3	2
<b>Desvio padrão</b>	0,94	1,05	0,73	1,47	1,47	1,33

**Fonte:** elaboração própria.

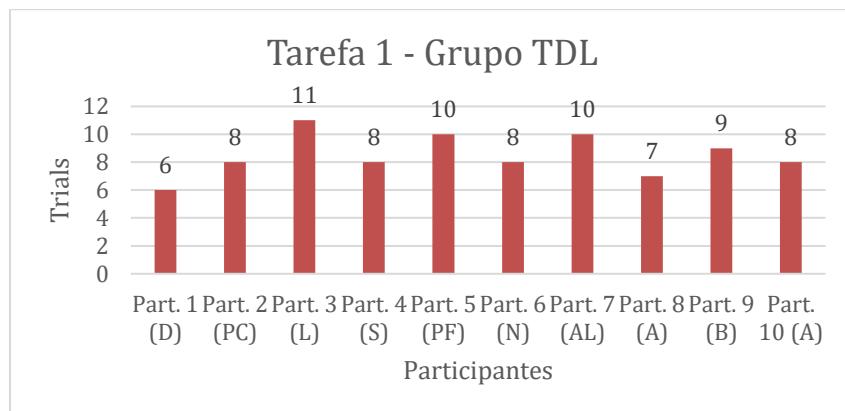
### GRÁFICO 1 – Distribuição de Acertos por Participantes no Grupo Controle



**Fonte:** elaboração própria.

Quanto ao grupo TDL, ocorreu uma variação maior no número de acertos entre os participantes, sendo o máximo de pontuação 11 acertos de 18, enquanto o mínimo, 6 acertos de 18. A média foi de 8,4, a taxa de acertos de 46,67%.

### GRÁFICO 2 – Distribuição de Acertos por Participantes no Grupo TDL



**Fonte:** elaboração própria.

Os dados inter-sujeitos foram analisados por meio do teste não paramétrico Mann-Whitney U e os dados intra-sujeitos (medidas repetidas) foram analisados pelo teste não-paramétrico Friedman. A tabela 2 apresenta o resultado da comparação entre o número total de acertos de cada grupo por meio do teste não paramétrico Mann-Whitney U.

### TABELA 2 – Valores do teste U de Mann-Whitney para Comparações entre Grupos

Mann-Whitney U Test		
	U	p
Total	100.000	< .001

**Fonte:** elaboração própria.

Como apresentado na Tabela 2, a diferença entre os grupos, com base no total de acertos, foi significativa. Outro teste foi realizado, agora analisando o número de acertos em cada condição. Os resultados são apresentados na tabela 3:

**TABELA 3** – Comparaçāo entre Grupos em Funçāo do Tipo de Sequênciā Rítmica

Mann-Whitney U			
Condição	U	p	Correlaçāo bisserial por postos
Semelhante	65	0,253	0,3
Diferente fácil	86	0,006	0,72
Diferente difícil	86,5	0,005	0,73

**Fonte:** elaboração própria.

Na condição semelhante, não foi observada diferença significativa entre os grupos ( $U = 65.000$ ,  $p = .253$ ), embora o tamanho do efeito tenha indicado uma associação de magnitude pequena a moderada ( $r = 0.30$ ). Por outro lado, nas condições *Diferente Fácil* ( $U = 86.000$ ,  $p = .006$ ) e *Diferente Difícil* ( $U = 86.500$ ,  $p = .005$ ), verificou-se diferença estatisticamente significativa entre os grupos, com tamanhos de efeito elevados ( $r = 0.72$  e  $r = 0.73$ , respectivamente).

Com vista a verificar o efeito da sequência em cada grupo, foi comparado o número de acertos em cada condição pelo teste não-paramétrico *Friedman*. Os resultados indicaram que, para o grupo controle (CTL), não houve diferenças significativas entre as condições ( $\chi^2 r(2) = 1,55$ ,  $p = 0,4607$ ). O grupo TDL também não apresentou diferenças estatisticamente significativas ( $\chi^2 r(2) = 2,40$ ,  $p = 0,30119$ ). Esses resultados sugerem que a manipulação experimental das condições não influenciou o número de acertos em nenhum dos grupos.

Portanto, os dados sugerem que, quando não há alterações no ritmo, crianças CTL e TDL apresentam desempenhos equivalentes na tarefa. Já na condição *diferente fácil*, observou-se uma diferença significativa indicando que as crianças do grupo controle detectaram melhor essas variações mais perceptíveis em comparação com as crianças com TDL. Na condição *diferente difícil*, também houve diferença significativa entre os grupos, mostrando que as crianças do grupo controle foram mais precisas em detectar variações sutis do ritmo.

### 9.1.3 Discussão

O teste de Friedman indicou que tanto o grupo Controle quanto o grupo TDL apresentaram um padrão de desempenho consistente nas três situações. Isso significa que, independentemente da condição, cada grupo manteve um nível de acertos semelhante. Quanto à análise do teste de Mann-Whitney, que comparou o desempenho entre os grupos em cada condição, separadamente, os resultados mostraram diferenças significativas nas condições Diferente Fácil e Diferente Difícil, indicando que o grupo TDL teve um desempenho inferior quando as tarefas exigiam maior capacidade de discriminação rítmica. Os resultados mostram que a mudança e a condição experimental não afetaram o desempenho dentro de cada grupo, porém, houve diferenças consistentes entre os grupos, principalmente quando a tarefa se tornou mais complexa. Isso sugere que as dificuldades do grupo TDL não necessariamente dependem da variação entre as condições, mas refletem um desempenho geral mais baixo na tarefa de discriminação rítmica quando comparado ao grupo controle.

Considerando a pontuação máxima possível, observa-se que o desempenho não foi excelente em nenhum dos grupos. Embora o grupo controle tenha apresentado índices de acerto superiores, esses valores ainda se mantiveram abaixo de uma pontuação alta. Tal resultado pode refletir a elevada complexidade da tarefa de Discriminação Rítmica. Essa hipótese foi corroborada por um teste piloto realizado previamente, que buscou estimar o nível de dificuldade da atividade em um grupo de adultos.

Seis participantes adultos, sem histórico de dificuldades de linguagem, sem formação musical e sem comprometimentos auditivos, realizaram a Tarefa 1. Os adultos apresentaram certo grau de dificuldade, obtendo uma taxa média de acertos total de 86,2%. Esses achados reforçam a ideia de que a tarefa, por sua natureza, demanda habilidades perceptivas complexas, o que pode ter influenciado o desempenho observado nas crianças testadas. Entretanto, é nítido que o grupo TDL apresentou maior dificuldade do que o grupo controle, com pontuações significativamente mais baixas. Essa diferença significativa sugere que as crianças com TDL podem ter limitações específicas em processos perceptivos de ritmo musical, destacando a importância de considerar fatores como atenção, memória auditiva e habilidades rítmicas ao analisar o desempenho inferior.

Em síntese, considerando a literatura apresentada na dissertação e os resultados encontrados, observa-se que crianças atípicas, no caso, especificamente com o diagnóstico de TDL, apresentam déficit no processamento musical. A dificuldade de discriminação rítmica pode sugerir a existência de um déficit na organização temporal

(Corriveau *et al.*, 2007; Corriveau e Goswami, 2009; Cumming, Wilson e Goswami, 2015; Richards e Goswami, 2015). Como discutido na subdivisão 8.1, uma dificuldade temporal não necessariamente afeta apenas o processamento musical, mas também o processamento linguístico, uma vez que podem ocorrer problemas na percepção do tempo de ascensão das sílabas e na amostragem temporal da envoltória da fala – dificuldades que foram encontradas em indivíduos com dislexia e TDL (Corriveau *et al.*, 2007; Cumming, Wilson e Goswami, 2015).

Os resultados encontrados sugerem que as crianças com TDL, ao apresentarem maior dificuldade na discriminação de sequências rítmicas, podem refletir déficits de memória, atenção e/ou processamento temporal. Mais estudos são necessários para entender exatamente qual desses aspectos é afetado. De todo modo, os achados dialogam com as hipóteses apresentadas na dissertação – principalmente quanto às previsões temporais (Patel, 2003; Ladányi, Persici *et al.*, 2020; Fiveash *et al.*, 2021). O resultado também sugere um partilhamento neural entre alguns recursos do processamento da música e da linguagem, em particular, com o aspecto rítmico.

Diante de evidências de que crianças com desenvolvimento típico podem obter benefícios por meio da produção e percepção musical (Gardiner *et al.*, 1996; Schlaug *et al.*, 2005; Moreno *et al.*, 2008; Milovanov e Tervaniemi, 2011; Tierney *et al.*, 2015; Linnavalli *et al.*, 2018; Canette *et al.*, 2020), intervenções musicais podem ser eficazes para as crianças com Transtorno de Déficit de Linguagem (TDL), uma vez que apresentam maior potencial de melhoria (Overy, 2003; Richards e Goswami, 2015; Bedoin *et al.*, 2016).

Em suma, o pequeno tamanho da amostra ( $N = 10$  por grupo) e a diferença média de um ano entre os grupos na mesma faixa etária podem ter influenciado os resultados<sup>37</sup>. Apesar disso, as diferenças significativas obtidas sugerem que os dados do português podem corroborar e ampliar os resultados obtidos em diferentes línguas.

## 9.2 *Tapping Task*

Esta tarefa foi modelada com base no estudo de toque ritmado realizado por Corriveau Goswami (2009). Em comparação ao estudo original, foram feitas algumas mudanças metodológicas, como, por exemplo, o tempo dentro da tolerância. O estudo de Corriveau e Goswami (2009) considerou dentro da tolerância 0,1 segundos (100

---

<sup>37</sup> A escola onde foi realizada a coleta das crianças típicas liberou apenas a turma do 4º ano.

milissegundos), já neste estudo, optou-se por uma tolerância menor (50 milissegundos). As razões principais desta decisão foram um aumento de exigência na metodologia quanto à precisão da sincronização, a busca por menos falsos positivos, diante do fato de o sistema de software utilizado na coleta possibilitar trabalhar com uma resolução temporal mais alta, permitindo uma sincronização mais estrita.

As variáveis independentes foram: *Grupo* (crianças com TDL e controle), *Velocidade do ritmo* (1,5; 2,0; 2,5) e *Audibilidade da batida* (com e sem batida audível, marcada no metrônomo). Como variáveis dependentes, as medidas *AT* (*Anticipation Time*) e *ITI* (*Inter-Tap Interval*)<sup>38</sup>. *ITI* mediu a precisão rítmica da criança, sendo a diferença entre o intervalo-alvo (metrônomo) e a batida da criança, caso fosse 0, isso significaria que a batida estava regular e precisa junto ao estímulo auditivo. A variável foi medida em ambas as condições ritmadas e não ritmadas. A medida **AT** pôde ser obtida apenas na condição ritmada. Foi registrada a batida da criança antes ou depois do estímulo auditivo (ritmo do metrônomo), sendo calculada a diferença de tempo entre o momento da batida e o bipe do metrônomo. Quando a criança bateu antes do bipe, o resultado foi considerado negativo; quando bateu após, positivo. O valor zero indicou precisão, admitindo-se uma tolerância de 0,05 segundos (50 milissegundos). As variáveis controladas incluíram o tempo de apresentação (30 segundos por bloco), a ordem dos blocos (1,5; 2,0; 2,5), os parâmetros sociodemográficos, a idade e a ausência de prática musical formal.

A hipótese de que existe uma relação entre o ritmo musical e as habilidades linguísticas prevê que crianças com desenvolvimento atípico apresentem maior dificuldade na tarefa de sincronização rítmica em comparação às crianças com desenvolvimento típico, em consonância com pesquisas anteriores que indicam que crianças com TDL apresentam dificuldades tanto no processamento linguístico quanto no processamento musical rítmico.

### 9.2.1 Método

#### Participantes

Os mesmos da tarefa anterior. Não houve desistência entre uma e outra tarefa. O intervalo entre as duas tarefas foi de 10 minutos.

---

<sup>38</sup> Foram mantidos os nomes e siglas, em inglês, usados nas variáveis criadas por Corriveau Goswami (2009) no estudo original.

## Material

O *software* usado para desenvolver o projeto foi o *Python*, no qual foram criados bipes, na taxa de velocidade de 1,5 Hz (666,66 mseg), 2 Hz (500 mseg) e 2,5 Hz (400 mseg). No bloco de 1,5 Hz, ao todo, havia 44 batidas para cada condição (44 batidas com ritmo e 44 sem ritmo). No de 2,0 Hz, com batida, havia 58, enquanto sem batida, 59 no total. No bloco 2,5 Hz, com batida, 72, sem batida, 73.

Além do material das três condições, foi desenvolvido um bloco de treinamento para introduzir a atividade às crianças.

## Aparato

Um *notebook* foi usado para aplicar o experimento, sendo a barra de espaço a tecla de registro das respostas. Todas as crianças usaram fones de ouvido estéreo durante a atividade.

## Procedimento

Nessa tarefa, tal como o estudo original, cada velocidade foi apresentada por 30 segundos compassados (marcados por uma batida de metrônomo que servia como guia de sincronização), seguida por um bloco de 30 segundos de silêncio (sem ritmo, precisando ser mantida na memória a batida do metrônomo). As crianças precisavam acompanhar diferentes velocidades de batida (1,5 Hz, 2 Hz e 2,5 Hz) pressionando a barra de espaço no teclado. Assim, por exemplo, após ouvir e acompanhar o ritmo de 1,5 Hz durante 30 segundos, a criança continuava pressionando a barra de espaço no mesmo compasso, durante 30 segundos, agora mantendo o ritmo internamente (sem o som de referência).

As crianças foram instruídas a fazer as três frequências na mesma ordem:

1. 1,5 Hz com ritmo seguido por 1,5 Hz sem ritmo (1 minuto ao total)
2. 2 Hz com ritmo seguido por 2 Hz sem ritmo (1 minuto ao total)
3. 2,5 Hz com ritmo seguido por 2,5 Hz sem ritmo (1 minuto ao total)

Antes da tarefa principal, foi realizado um treinamento de 30 segundos, em que as crianças praticaram a sincronização com blocos curtos de 10 segundos (2 Hz com e sem ritmo, e 1,5 Hz com ritmo). Nesse momento, a experimentadora explicou as

diferenças de velocidade, demonstrou como pressionar a barra de espaço de forma sincronizada com os bipes e instruiu que, durante o silêncio, a criança deveria continuar mantendo o mesmo ritmo mentalmente. Após esclarecer dúvidas, iniciaram-se os blocos experimentais, com duração total aproximada de 3 a 5 minutos.

### 9.2.2 Resultados

A análise da Tarefa 2 foi dividida em dois processos. Primeiro, a categoria principal “Dentro da Tolerância” foi comparada entre os grupos, sendo que valores mais altos indicam melhor sincronização. O segundo processo foi focado nas outras quatro categorias secundárias, relacionadas a resultados negativos (total de atraso, antecipação, batida adicionada a mais e omissões), quanto mais baixos os valores, melhor o desempenho.

As Tabelas 4 e 5 apresentam a média total do número de batidas em cada categoria (dentro do tempo de tolerância e fora do tempo de tolerância, sendo esta última composta pela soma das antecipações, dos atrasos, das batidas adicionais e das omissões), em função da audibilidade da batida (com batida e sem batida) e da velocidade. Os resultados são apresentados separadamente para o grupo típico e para o grupo com TDL, respectivamente.

**TABELA 4 e 5 – Tabela da Média do Número de Batidas em cada Categoria**

Tabela 4

Categorias	Com Batida			Sem Batida		
	Vel. 1.5 (max score= 44)	Vel. 2 (m.s. =58)	Vel. 2.5 (m.s. =72)	Vel. 1.5 (m.s. = 44)	Vel. 2 (m.s. = 59)	Vel. 2.5 (m.s. =73)
<b>Dentro da Tolerância</b>	<b>4,8</b>	<b>1,1</b>	<b>1,7</b>	<b>7,5</b>	<b>14,7</b>	<b>18,7</b>
Antecipado	3,3	2,8	37,2	17,4	17,9	28,7
Atraso	34,6	52,4	28	19,2	24,7	21,9
Batida Adicional	0,8	1,5	4,1	2,6	2	2,3
Omissão	1,3	1,7	5,1	0,5	1,7	3,8
Média total externa ( $\mu$ )	10	14,6	18,6	9,925	11,575	14,175

Tabela 5

Categorias	Com Batida			Sem Batida		
	Vel. 1.5 (max score= 44)	Vel. 2 (m.s. =58)	Vel. 2.5 (m.s. =72)	Vel. 1.5 (m.s. = 44)	Vel. 2 (m.s. = 59)	Vel. 2.5 (m.s. =73)
<b>Dentro da Tolerância</b>	<b>3,8</b>	<b>6</b>	<b>7,1</b>	<b>4,4</b>	<b>9,7</b>	<b>13,3</b>
Antecipado	4,5	8,9	19,4	13,6	18,1	24,6
Atraso	32,8	37,3	36,9	20,3	24,3	23,4
Batida Adicional	6,3	7,1	9,9	10,3	7,3	8
Omissão	1,8	3,6	5,6	2,7	4,7	7,5
Média total externa ( $\mu$ )	11,35	14,225	17,95	11,725	13,6	15,875

**Fonte:** elaboração própria.

Ambas as tabelas 4 e 5 mostram a média do resultado das categorias, sendo a Categoria Dentro da Tolerância representada pela faixa verde. As demais categorias secundárias tiveram a média total somada, quanto maior, pior desempenho.

**TABELA 6** – Tabela de Estatísticas Descritivas dos dados dentro da Tolerância

	C/ batida 1,5 Hz	C/ batida 1,5 Hz	C/ batida 2,0 Hz	C/ batida 2,0 Hz	C/ batida 2,5 Hz	C/ batida 2,5 Hz	S/ batida 1,5 Hz	S/ batida 1,5 Hz	S/ batida 2,0 Hz	S/ batida 2,0 Hz	S/ batida 2,5 Hz	S/ batida 2,5 Hz
<b>Grupo</b>	CTL	TDL										
<b>Válidos (N)</b>	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
<b>Faltando</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Mediana</b>	0.000	4.000	1.100	3.500	0.500	5.500	7.000	4.000	14.500	10.000	18.500	14.500
<b>Média</b>	4.800	3.800	1.100	6.000	1.700	7.100	7.500	4.400	14.700	9.700	18.700	13.300
<b>Desvio padrão</b>	9.659	3.048	1.524	7.659	2.983	4.701	1.509	1.955	4.547	3.234	8.769	2.710
<b>Mínimo</b>	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	2.000	5.000	2.000	7.000	2.000	1.000	10.000
<b>Máximo</b>	30.000	9.000	5.000	25.000	9.000	18.000	10.000	8.000	23.000	13.000	32.000	16.000

**Fonte:** elaboração própria.

Agora, ao analisar separadamente cada categoria, são observados resultados diferentes dos apresentados acima. A comparação entre os grupos nas respostas Dentro da Tolerância e Fora da Tolerância, em cada velocidade e Audibilidade da Batida, foi analisada por meio de um Modelo Linear Misto. O modelo incluiu efeitos fixos (Audibilidade, velocidade e grupo) e efeito aleatório (valor das respostas). O modelo selecionado incluiu apenas o intercepto como fator aleatório. A seguir, os resultados Dentro da Tolerância:

**TABELA 7** – Resultados do Modelo Linear Misto para os Efeitos de Grupo, Audibilidade da Batida e Velocidade

Table a) Linear Mixed Models							
Efeito	df	F	p	Estimate	SE	t	p (t)
Grupo	1, 66.55	1.256	0.266	0.570	0.508	1.121	0.266
Condição	1, 45.46	2.142	0.150	-0.767	0.524	-1.463	0.150
Velocidade	1, 21.10	41.662	< .001	10.175	1.576	6.455	< .001
Table b) Estimated Marginal Means							
Grupo	Velocidade	Condição	Estimate	SE	Lower	Upper	
CTL	1.590	C/ Batida	3.365	1.239	0.936	5.794	
TDL	1.590	C/ Batida	2.225	1.239	-0.203	4.654	
CTL	1.590	C/ Batida	4.899	1.074	2.793	7.004	
TDL	1.590	C/ Batida	3.759	1.074	1.654	5.864	
CTL	2.000	C/ Batida	7.537	0.924	5.726	9.347	
TDL	2.000	C/ Batida	6.397	0.924	4.586	8.207	
CTL	2.000	S/ Batida	9.070	0.866	7.372	10.768	
TDL	2.000	S/ Batida	7.930	0.866	6.232	9.628	
CTL	2.410	S/ Batida	11.708	1.003	9.742	13.674	
TDL	2.410	S/ Batida	10.568	1.003	8.602	12.534	
CTL	2.410	S/ Batida	13.241	1.087	11.110	15.373	
TDL	2.410	S/ Batida	12.101	1.087	9.970	14.233	

**Fonte:** elaboração própria.

Os resultados da Tabela 7 (a) e (b) indicam que não houve efeito significativo para o fator Grupo ( $F(1,66.55) = 1.256, p = 0.266$ ) nem para Audibilidade da Batida ( $F(1,45.46) = 2.142, p = 0.150$ ). Isso sugere que, isoladamente, esses fatores não explicam diferenças no desempenho das crianças. Por outro lado, observou-se um efeito altamente significativo de Velocidade ( $F(1,21.10) = 41.662, p < 0.001$ ), evidenciando que o desempenho variou em função da velocidade da tarefa. Além disso, verifica-se uma tendência de maior dificuldade do grupo TDL em manter consistência sob a Audibilidade sem batida.

O fato de não haver evidências de um efeito significativo do grupo na variável dependente é possivelmente em função da alta variabilidade dos dados e do tamanho amostral. Argumenta-se isso devido às tendências observadas nas médias, principalmente nas condições sem batida.

Foram realizados testes não-paramétricos devido à possibilidade de o tamanho da amostra ter influenciado os resultados do modelo misto. Para a categoria Dentro da Tolerância, a Tabela 8 apresenta os resultados estatísticos obtidos por meio do teste de Mann-Whitney.

**TABELA 8** – Resultados do Teste Mann-Whitney U: Dentro da Tolerância

Mann -Whitney U Test										
Group	n	M	SD	SE	CV	Mean Rank	Sum Rank	U	p	r biserial
CTL	20	2.95	6.99	1.56	2.37	16.33	326.5			
TDL	20	4.90	5.79	1.29	1.18	24.68	493.5	116.5	.021	0.418

**Fonte:** elaboração própria.

Como visto na Tabela 8, na velocidade de 1,5 Hz, o teste de Mann-Whitney indicou diferença significativa entre os grupos ( $U = 116,5, p = 0,021, r = 0,418$ ). O grupo TDL apresentou valores mais elevados (*Mediana* = 4,25) em comparação ao grupo controle (*Mediana* = 0,75). Isso sugere que as crianças com TDL tiveram desempenho superior na Audibilidade com batida.

Na velocidade de 2 Hz, não foi encontrada diferença significativa entre os grupos ( $U = 178,5, p = 0,568, r = 0,108$ ). Apesar de o grupo controle apresentar uma mediana ligeiramente superior (mediana 5,5) em comparação ao grupo TDL (mediana 5,0), a magnitude da diferença foi pequena, portanto, estatisticamente não significativa.

Na velocidade de 2,5 Hz houve diferença significativa entre os grupos controle e TDL ( $U = 305,5, p = 0,004, r = 0,528$ ). O grupo controle apresentou valores superiores (*Mediana* = 16) em comparação ao grupo TDL (*Mediana* = 11). A magnitude da diferença

foi moderada a alta, indicando que o desempenho do grupo CTL foi maior do que o do grupo TDL.

O teste de Friedman, para velocidade intra-sujeito, a Audibilidade com batida indicou que houve diferença significativa entre as velocidades, sugerindo que o desempenho dos participantes não é igual em todas as velocidades ( $N=20$ ,  $\chi^2_r = 16.825$ ,  $p=0.00022 < 0.05$ ).

Agora, na Audibilidade sem batida, o teste de Friedman indicou que houve diferença significativa no desempenho dos participantes em função da velocidade ( $N=20$ ,  $\chi^2_r = 24.175$ ,  $p=.00001$ ).

Como o teste de Friedman indicou diferenças significativas entre as velocidades, foram realizados testes de Wilcoxon pareados como análise *post hoc*. As comparações foram feitas entre todos os pares de velocidades (1,5 Hz vs. 2 Hz; 1,5 Hz vs. 2,5 Hz; 2 Hz vs. 2,5 Hz), com correção de Bonferroni aplicada para controlar o erro tipo I<sup>39</sup> ( $0,05/3 = 0,0167$ ).

**TABELA 9** – Resultados Wilcoxon Pareado com Correção de Bonferroni

Grupo	Condição	vs	Estatística V	Valor-p bruto	Valor-p ajustado	Significância	Tamanho do efeito (r)
TDL	C/ batida	1.5 vs 2	14.5	0.184	0.552	N sign.	0.42
		1.5 vs 2,5	1	0.00694	0.02082	Significativo	0.85
		2 vs 2,5	12	> 0.05	> 0.15	N sign.	0.41
	S/ batida	1.5 vs 2	19.5	> 0.05	> 0.15	N sign.	0.12
		1.5 vs 2,5	6	0.02852	0.08556	Significativo	0.69
		2 vs 2,5	0	0.00512	0.01536	Significativo	0.89
Controle	C/ batida	1.5 vs 2	11.5	> 0.05	> 0.15	N sign.	0.16
		1.5 vs 2,5	8	0.0466	0.1398	Significativo	0.63
		2 vs 2,5	0	0.00512	0.01536	Significativo	0.89
	S/ batida	1.5 vs 2	0	0.00512	0.01536	Significativo	0.89
		1.5 vs 2,5	0	0.00512	0.01536	Significativo	0.89
		2 vs 2,5	3	0.01242	0.03726	Significativo	0.79

**Fonte:** elaboração própria.

Os resultados dos testes de Wilcoxon revelaram um padrão complexo de desempenho em função da velocidade, grupo e Audibilidade. Para o grupo TDL na Audibilidade com batida, observou-se uma diferença significativa no desempenho entre as velocidades de 1,5 Hz e 2,5 Hz ( $W = 1$ ,  $p$ -ajustado = 0.021,  $r = 0.85$ ), indicando uma queda acentuada no desempenho na velocidade mais alta. No entanto, as comparações entre 1.5 vs. 2.0 Hz e 2.0 vs. 2.5 Hz não alcançaram significância estatística após a

<sup>39</sup> O erro Tipo I ocorre quando a hipótese nula ( $H_0$ ) é rejeitada incorretamente, indicando um falso positivo. Para reduzir esse risco em múltiplas comparações, aplicou-se a correção de Bonferroni, ajustando o nível de significância ( $0,05/3 = 0,0167$ ). Em termos práticos, representa a detecção de uma diferença ou efeito inexistente.

correção de Bonferroni ( $p$ -ajustado  $> 0.05$ ), apresentando tamanhos de efeito moderados ( $r = 0.42$  e  $r = 0.41$ ).

Na Audibilidade sem batida, o grupo TDL exibiu diferenças significativas entre 1.5 vs. 2.5 Hz ( $W = 6$ ,  $p$ -ajustado = 0.086,  $r = 0.69$ ) e 2.0 vs. 2.5 Hz ( $W = 0$ ,  $p$ -ajustado = 0.015,  $r = 0.89$ ), mas não entre 1.5 vs. 2.0 Hz ( $p$ -ajustado  $> 0.05$ ).

Para o grupo Controle, na Audibilidade com batida, diferenças significativas foram encontradas apenas entre 2.0 vs. 2.5 Hz ( $W = 0$ ,  $p$ -ajustado = 0.015,  $r = 0.89$ ), enquanto na Audibilidade sem batida, todas as comparações foram significativas: 1.5 vs. 2.0 Hz ( $W = 0$ ,  $p$ -ajustado = 0.015,  $r = 0.89$ ), 1.5 vs. 2.5 Hz ( $W = 0$ ,  $p$ -ajustado = 0.015,  $r = 0.89$ ) e 2.0-2.5 Hz ( $W = 3$ ,  $p$ -ajustado = 0.037,  $r = 0.79$ ). Notavelmente, os tamanhos de efeito foram consistentemente altos ( $r > 0.79$ ) para todas as comparações significativas, indicando que a velocidade possui um impacto robusto e clinicamente relevante no desempenho, particularmente em velocidades mais altas (2,5 Hz).

Quanto à análise da segunda etapa do experimento, foram consideradas as categorias secundárias (Antecipação, Atraso, Batida Adicionada e Omissão). A metodologia estatística empregada também foi o Modelo Linear Misto. Entre as quatro categorias, apenas duas apresentaram diferenças significativas (Batida Adicionada e Omissão). A metodologia estatística adotada também foi o Modelo Linear Misto. Das quatro categorias secundárias, apenas duas tiveram diferenças significativas (Batida Adicionada e Omissão).

**TABELA 10** – Resultados do Modelo Linear Misto para o efeito de Grupo, Velocidade, Audibilidade, na Categoria Antecipado

Linear Mixed Models							
Efeito	df	F	p	Estimate	SE	t	p (t)
Grupo	1, 47.11	1.050	0.311	1.008	0.983	1.025	0.311
Velocidade	1, 22.45	38.039	<.001	17.393	2.820	6.168	<.001
Condição	1, 39.58	15.914	<.001	-3.806	0.954	-3.989	<.001

**Fonte:** elaboração própria.

Na análise da Categoria Antecipação, ocorreu um efeito significativo da velocidade ( $F(1,22.45) = 38.039$ ,  $p < .001$ ) e da Audibilidade ( $F(1,39.58) = 15.914$ ,  $p < .001$ ), mas não do grupo ( $F(1,47.11) = 1.050$ ,  $p = 0.311$ ). As estimativas mostraram que as dessincronizações aumentaram com a velocidade ( $Estimate = 17.393$ ,  $SE = 2.820$ ,  $p < .001$ ) e foram significativamente mais elevadas na Audibilidade sem batida comparada à Audibilidade com batida ( $Estimate = -3.806$ ,  $SE = 0.954$ ,  $p < .001$ ).

**TABELA 11** – Resultados do Modelo Linear Misto para o Efeito de Grupo, Velocidade e Audibilidade na Categoria Atrasado

Linear Mixed Models							
Efeito	df	F	p	Estimate	SE	t	p (t)
Grupo	1, 29.23	0.057	0.813	0.279	1.170	0.238	0.813
Condição	1, 34.24	55.625	< .001	7.542	1.011	7.458	< .001
Velocidade	1, 19.18	0.170	0.685	1.400	3.397	0.412	0.685

**Fonte:** elaboração própria.

A análise por Modelo Linear Misto da Categoria Atraso indicou que não houve efeito significativo do Grupo ( $F(1,29.23) = 0.057$ ,  $p = 0.813$ ) nem da Velocidade ( $F(1,19.18) = 0.170$ ,  $p = 0.685$ ) sobre o desempenho. Por outro lado, observou-se um efeito significativo na Audibilidade sem batida ( $F(1,34.24) = 55.625$ ,  $p < .001$ ), indicando que as dessincronizações foram mais elevadas na Audibilidade sem batida em comparação à Audibilidade com batida ( $Estimate = 7.542$ ,  $SE = 1.011$ ,  $t = 7.458$ ,  $p < .001$ ).

**TABELA 12** – Modelo Linear Misto: Batida Adicionada

Linear Mixed Models							
Efeito	df	F	p	Estimate	SE	t	p (t)
Grupo	1, 18.00	9.749	0.006	-2.748	0.880	-3.122	0.006
Condição	1, 19.00	0.234	0.634	-0.233	0.483	-0.483	0.634
Velocidade	1, 19.00	0.314	0.582	1.075	1.919	0.560	0.582

**Fonte:** elaboração própria.

**TABELA 13** – Médias Marginais Estimadas (com erros padrão e IC 95%): Batida Adicionada

Estimated Marginal Means				95% CI	95% CI	
Grupo	Velocidade	Condição	Estimate	SE	Lower	Upper
CTL	1.590	C/ Batida	1.762	1.970	-2.099	5.623
TDL	1.590	C/ Batida	7.257	1.970	3.396	11.118
CTL	2.000	C/ Batida	2.202	1.454	-0.647	5.052
TDL	2.000	C/ Batida	7.698	1.454	4.848	10.547
CTL	2.410	C/ Batida	2.643	1.258	0.177	5.109
TDL	2.410	C/ Batida	8.138	1.258	5.672	10.604
CTL	1.590	S/ Batida	2.228	1.699	-1.102	5.559
TDL	1.590	S/ Batida	7.723	1.699	4.393	11.054
CTL	2.000	S/ Batida	2.669	1.404	-0.083	5.421
TDL	2.000	S/ Batida	8.164	1.404	5.412	10.916
CTL	2.410	S/ Batida	3.110	1.515	0.141	6.079
TDL	2.410	S/ Batida	8.605	1.515	5.636	11.574

**Fonte:** elaboração própria.

Quanto à categoria Batida Adicionada, esta ocorria quando a criança pressionava a tecla mais vezes do que o necessário, acrescentando batidas extras que não correspondiam ao ritmo do estímulo apresentado pelo *software*. O modelo indicou um efeito significativo de grupo ( $F(1,18) = 9.749, p = 0.006$ ), mostrando diferença entre os grupos no desempenho. Por outro lado, não foram observados efeitos significativos de Audibilidade ( $F(1,19) = 0.234, p = 0.634$ ) nem de Velocidade ( $F(1,19) = 0.314, p = 0.582$ ).

O grupo TDL teve valores mais elevados em todas as condições e velocidades, tanto na presença quanto na ausência de batida, por isso, um desempenho inferior quando comparado ao grupo controle. Na Audibilidade *C/Batida* e velocidade de 2.000, o grupo TDL apresentou uma média estimada de 7,698 (IC95% [4,848; 10,547]), enquanto o grupo CTL obteve 2,202 (IC95% [-0,647; 5,052]). Na Audibilidade *S/Batida* e velocidade de 2.410, o grupo TDL alcançou 8,605 (IC95% [5,636; 11,574]) em comparação com 3,110 (IC95% [0,141; 6,079]) no grupo CTL.

Por fim, a última categoria, Omissão, refere-se aos casos em que a criança não pressionou a tecla simultaneamente ao estímulo apresentado pelo *software*, fazendo com que a sincronização da batida não ocorresse. Essa ausência de resposta resultou em falhas na execução da tarefa. A seguir, a Tabela 14 apresenta os resultados do Modelo Linear Misto para essa categoria, evidenciando os efeitos de grupo, audibilidade e velocidade.

**TABELA 14** – Resultados do Modelo Linear Misto na Categoria Omissão

Table a) <b>Linear Mixed Models</b>							
<b>Efeito</b>	<b>df</b>	<b>F</b>	<b>p</b>	<b>Estimate</b>	<b>SE</b>	<b>t</b>	<b>p (t)</b>
Grupo	1, 19.09	0.270	0.609	-0.167	0.321	-0.520	0.609
Condição	1, 27.88	4.589	0.041	-0.786	0.367	-2.142	0.041
Velocidade	1, 20.23	28.421	< .001	3.875	0.727	5.331	< .001

Table b) <b>Estimated Marginal Means</b>				95% CI	95% CI	
<b>Grupo</b>	<b>Velocidade</b>	<b>Condição</b>	<b>Estimate</b>	<b>SE</b>	<b>Lower</b>	<b>Upper</b>
CTL	1.590	C/ Batida	0.809	0.628	-0.421	2.039
TDL	1.590	C/ Batida	1.142	0.628	-0.088	2.372
CTL	2.000	C/ Batida	2.381	0.628	1.150	3.611
TDL	2.000	C/ Batida	2.714	0.628	1.484	3.944
CTL	2.410	C/ Batida	2.398	0.705	1.016	3.779
TDL	2.410	C/ Batida	2.731	0.796	1.170	4.291
CTL	1.590	S/ Batida	3.969	0.705	2.588	5.350
TDL	1.590	S/ Batida	4.302	0.796	2.742	5.863
CTL	2.000	S/ Batida	3.986	0.881	2.259	5.714
TDL	2.000	S/ Batida	4.319	1.026	2.309	6.329
CTL	2.410	S/ Batida	5.558	0.881	3.830	7.285
TDL	2.410	S/ Batida	5.891	1.026	3.881	7.901

**Fonte:** elaboração própria.

Os dados indicam valores mais elevados para o grupo TDL em comparação ao grupo CTL. Ocorreu um aumento consistente nos valores com o incremento da velocidade, independentemente de grupo ou Audibilidade. Além disso, *S/Batida* teve resultados maiores do que *C/Batida* e não houve efeito de grupo.

### 9.2.3 Discussão

Em comparação ao grupo de crianças típicas, as crianças com TDL apresentaram dificuldade em manter o ritmo, perdendo diversas vezes o *timing* da pulsação das batidas, seja sem tocá-las ou tocando em excesso, de uma maneira ilógica, arrítmica. Ademais, o grupo TDL mostrou mais dificuldade em perceber e se ajustar às mudanças rítmicas.

A análise *post hoc* evidenciou um padrão distinto entre os grupos. O grupo Controle apresentou desempenho robusto na diferenciação entre velocidades. Essencialmente, na Audibilidade sem batida, foi observado que o grupo típico, em todas as comparações, teve resultados significativos e com tamanhos de efeito elevados, indicando alta sensibilidade às variações temporais. Já o grupo TDL apresentou um menor número de comparações diferenciadas e tamanhos de efeito moderados. Esse resultado sugere que indivíduos com TDL possuem limitações no processamento temporal, principalmente em situações de ausência de pistas externas.

Embora os resultados não tenham indicado diferenças significativas em Antecipações e Atrasos, é importante ressaltar que, nas tarefas de Omissão e Adição de Batida, as crianças com TDL apresentaram maior instabilidade rítmica e menor consistência temporal. Esses achados sugerem que suas dificuldades não se limitam a erros isolados, mas refletem um déficit mais amplo na habilidade de manter uma pulsação constante e previsível. Essencialmente, os resultados encontrados dialogam com outros estudos que observaram que crianças com TDL têm dificuldades tanto no processamento do ritmo da fala quanto da música (Bedoin *et al.*, 2016; Cumming *et al.*, 2015; Sallat e Jentschke, 2015) e que crianças com problemas de linguagem apresentam comprometimento na percepção/produção do ritmo e da métrica musical (Weinert, 1992; Corriveau e Goswami, 2009).

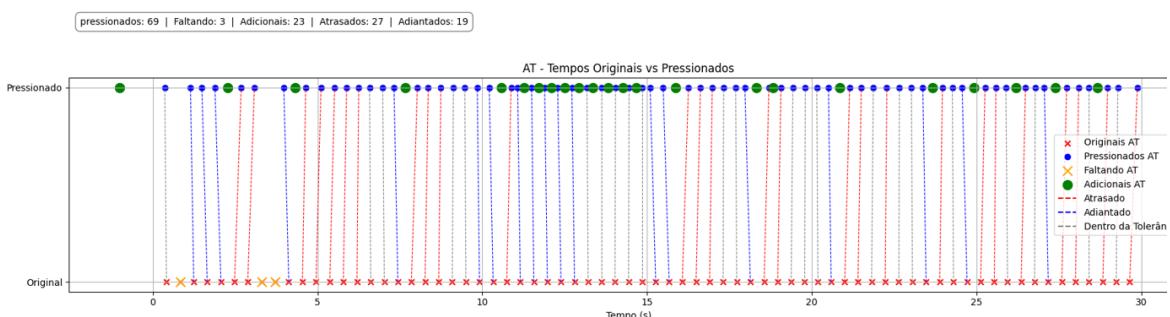
Além disso, os achados também dialogam diretamente com o estudo de Kreidler, Vuolo e Goffman (2023), apresentado no Capítulo 7. Como observado naquele estudo, as crianças com TDL tiveram maior dificuldade em organizar sequências temporais estáveis, apresentando um desempenho menos preciso e com mais variações na reprodução dos

agrupamentos rítmicos quando comparados aos típicos. Os autores também relataram desempenho menos estável e preciso na reprodução de sequências rítmicas.

Essas semelhanças com o estudo de Kreidler, Vuolo e Goffman (2023) sugerem que as falhas de sincronização observadas na Categoria Omissão podem refletir não apenas uma dificuldade motora isolada, mas um déficit mais amplo de planejamento temporal, sendo um aspecto que compromete tanto a execução rítmica quanto a organização prosódica da linguagem. Apesar dos resultados estatisticamente variados, deve-se considerar o ritmo como um marcador sensível das dificuldades enfrentadas por crianças com TDL (Cumming, Wilson, Leong, *et al.*, 2015; Sallat e Jentschke, 2015).

Dando continuidade à discussão, muitas crianças com TDL apertaram a tecla de espaço compulsoriamente, mesmo não havendo o estímulo do som do *software*. O programa desenvolvido, preparado para registrar as batidas a mais, caso ocorressem, documentou toda batida “errada” acrescentada pela criança.

**GRÁFICO 3 – Resultado do participante AF, Grupo Atípico, Respectivo à Audibilidade com Batida, Velocidade 2,5 Hz**



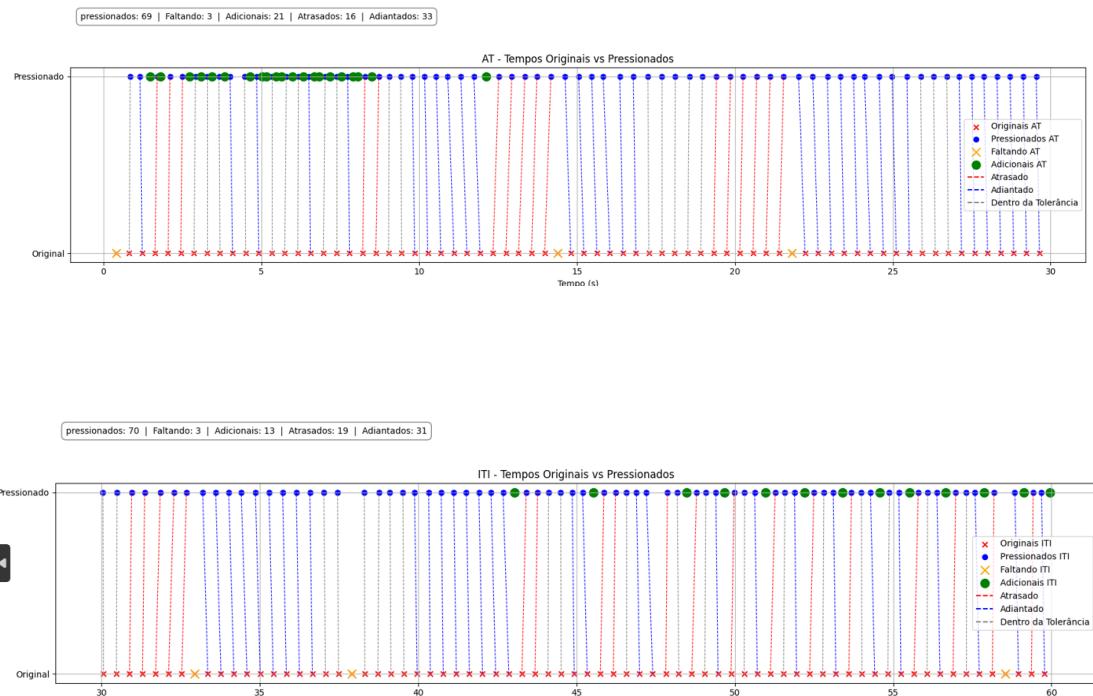
**Fonte:** elaboração própria.

Na Figura apresentada, os círculos azuis representam os momentos em que o participante pressionou a barra de espaço, enquanto os “X” vermelhos indicam as batidas originais. As linhas vermelhas mostram batidas atrasadas, e as azuis, batidas adiantadas. Os círculos verdes representam batidas adicionadas pelo participante, ou seja, pressionamentos extras que não deveriam ocorrer. A linha cinza indica pressões dentro da tolerância, e o “X” amarelo aponta batidas que deveriam ter sido acionadas, mas foram omitidas.

No participante AF (atípico), que registrou 23 sincronizações, observou-se uma sequência de acertos no meio da atividade. No entanto, essas respostas precisas parecem refletir uma compulsão em pressionar a barra de espaço, evidenciada pelos círculos verdes

correspondentes às batidas extras. O mesmo padrão foi observado no participante D (atípico), em ambas as condições na velocidade de 2,5 Hz. Conforme ilustrado no gráfico 4, os acertos isolados não refletem uma sincronização, mas uma impulsividade em pressionar a barra de espaço.

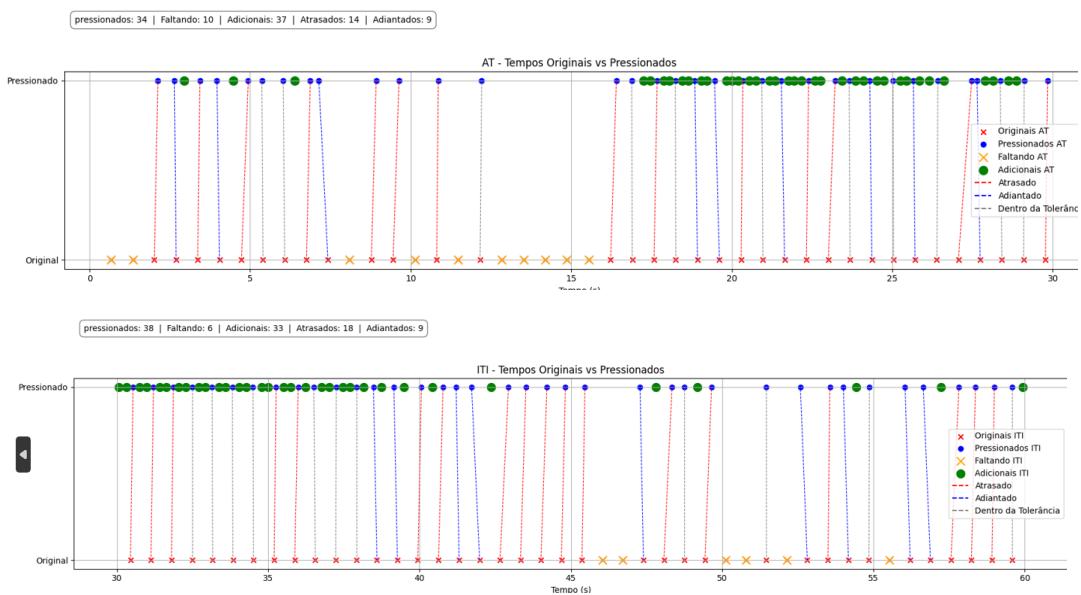
**GRÁFICO 4 – Resultado do Participante D, Grupo Atípico, em Ambas as Condições (Vel. 2.5 Hz)**



**Fonte:** elaboração própria.

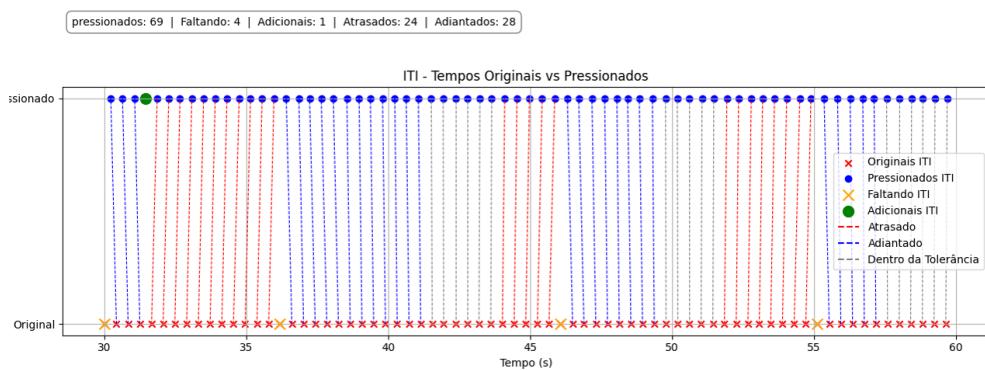
O participante D teve dificuldade em manter a pulsação. Outros estudos seriam necessários para entender o porquê disso, como talvez problemas no controle inibitório. Assim, ao serem adicionadas várias batidas, o *software* registrou Dentro da Tolerância, sem haver realmente uma sincronização de acordo com uma pulsação rítmica precisa e constante. Quanto à velocidade (1,5 Hz), o participante B teve o mesmo comportamento, tendo um enorme acréscimo de batidas fora de uma sequência rítmica coerente.

**GRÁFICO 5 – Resultado do Participante B, Grupo Atípico, em Ambas as Condições (Vel. 1,5 Hz)**



Para comparação, as crianças do grupo controle não apresentaram esse acréscimo exagerado, ocorrendo, de vez em quando, a adição de batidas. Por mais que as crianças típicas tenham cometido atrasos e adiantamentos, elas mantiveram uma sequência de batidas constantes, não necessariamente sincronizadas com o estímulo original, mas coesa, regular e pulsante.

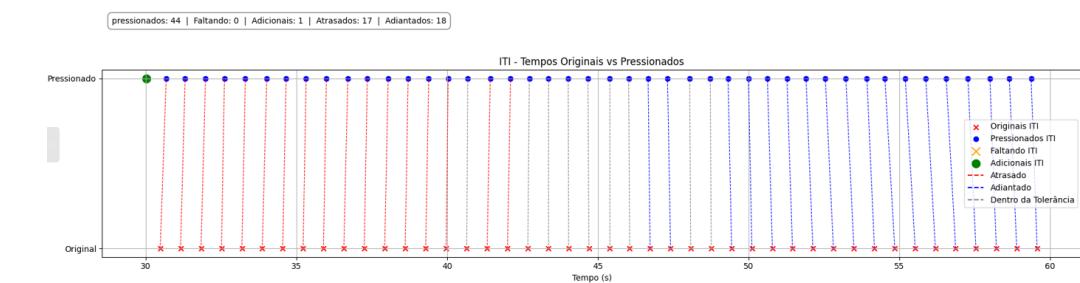
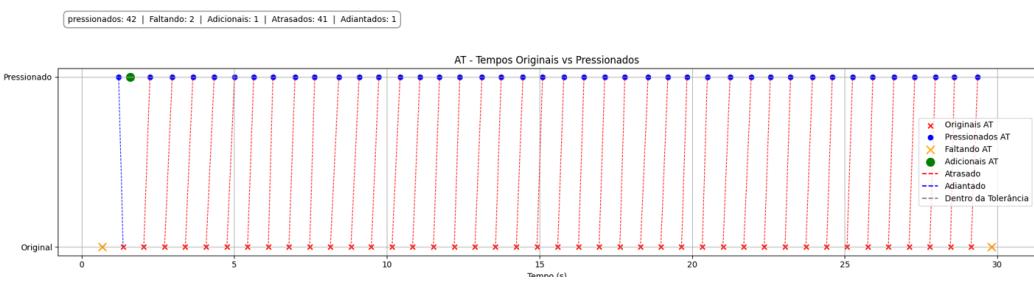
**GRÁFICO 6 – Resultado do Participante B, Grupo Típico, Audibilidade sem Batida (Vel. 2,5 Hz)**



**Fonte:** elaboração própria.

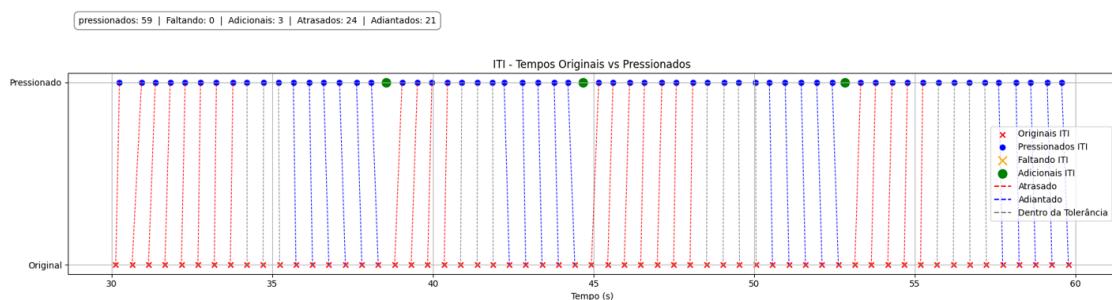
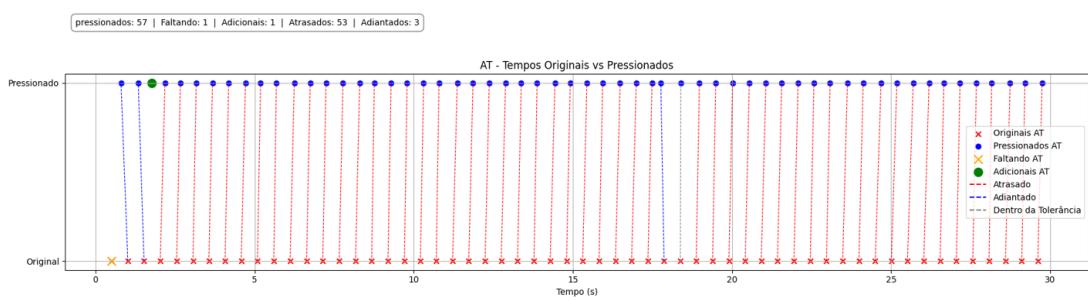
O participante teve uma quantidade significativa de sincronizações, apesar de também ter muitos atrasos e adiantamentos. Ele perdeu o *timing* da batida várias vezes, contudo, não houve adição em excesso, como observado em diversas crianças do grupo experimental. Isso também foi observado nos participantes H, M e ML:

**GRÁFICO 7 – Resultado do Participante H, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 1.5 Hz**



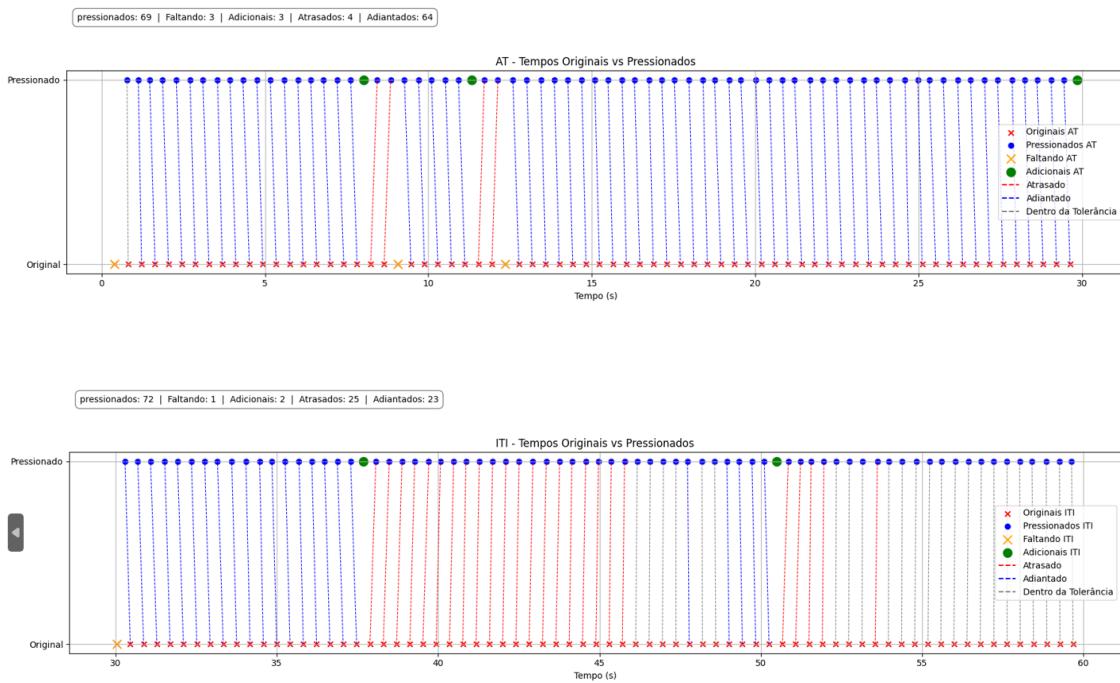
**Fonte:** elaboração própria.

**GRÁFICO 8 – Resultado do Participante M, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 2 Hz**



**Fonte:** elaboração própria.

**GRÁFICO 9 – Resultado do Participante ML, Grupo Típico, Ambas as Audibilidades, Vel. 2,5 Hz**

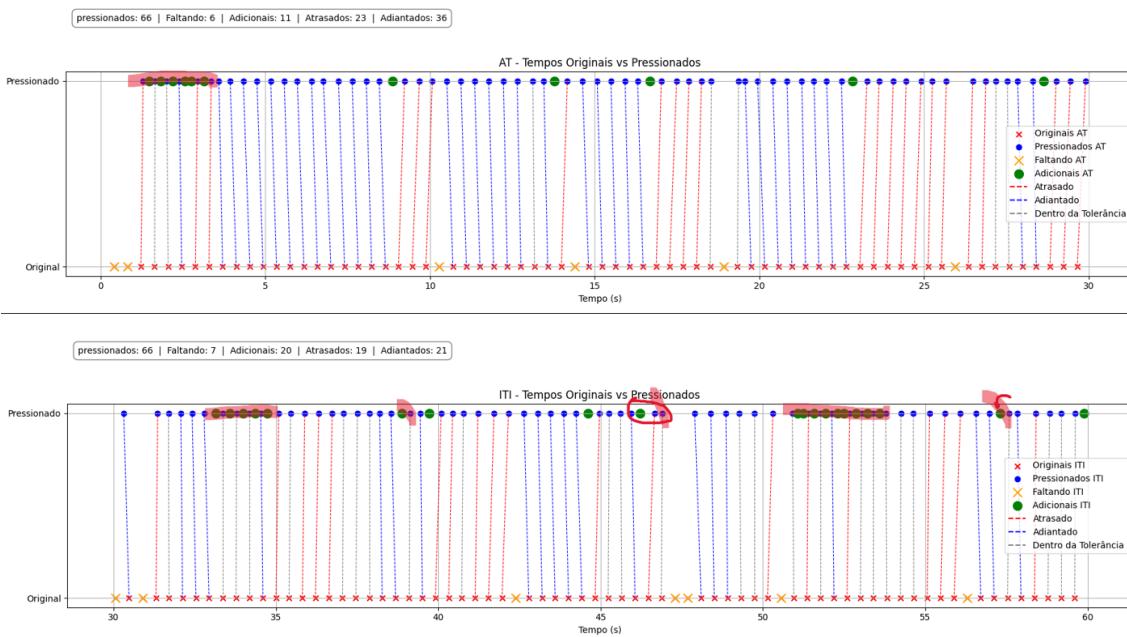


**Fonte:** elaboração própria.

Destaca-se que todas as crianças passaram por um processo de treinamento, foram instruídas sobre como realizar a tarefa, entenderam que deveriam apertar a barra de espaço no mesmo instante da batida. Durante a execução, algumas crianças com TDL (somente 3 das 10 não apresentaram esse comportamento impulsivo) tiveram essa adição em excesso de batidas que não seguiam uma pulsação rítmica constante. Todos os participantes TDL não tinham diagnóstico de TDAH, portanto, essa impulsividade estaria atrelada ao TDL e não a uma comorbidade extra. Testes de controle inibitório são necessários para que se avalie uma possível causa para este comportamento.

A análise estatística realizada nos Resultados da Subdivisão 9.2.2 foi feita já descartando as batidas acrescentadas exageradamente, fora de uma sequência rítmica, principalmente na Categoria Dentro da Tolerância. Os falsos acertos foram descartados por serem resultado dessa compulsão, e não de acertos que seguem uma lógica de sincronização. Por exemplo:

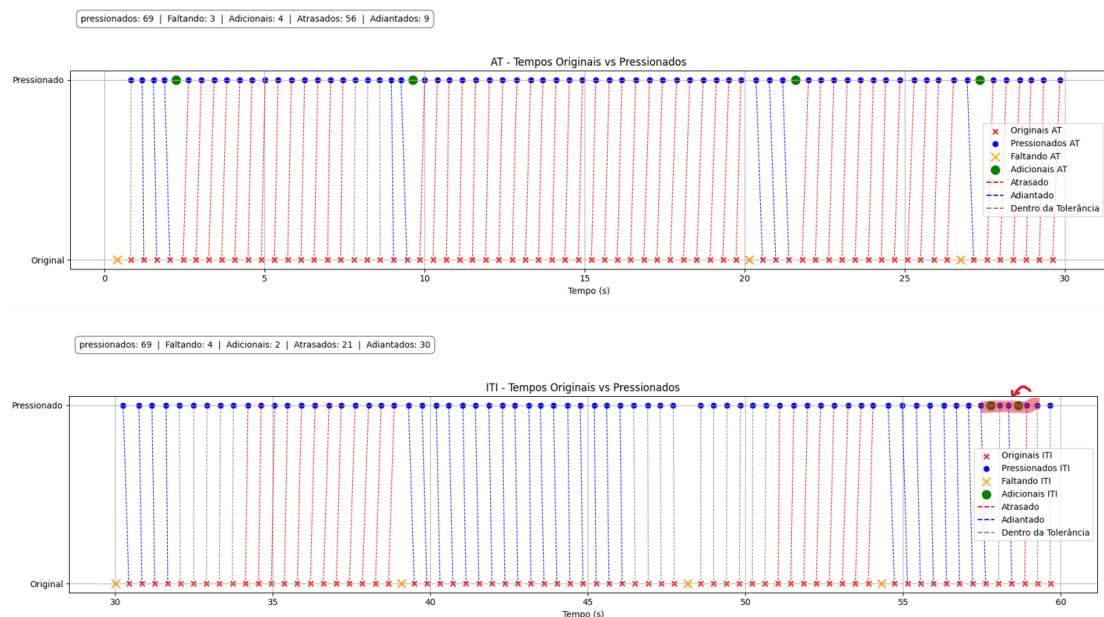
## GRÁFICO 10 – Resultados do participante A, Grupo TDL, Vel. 2 Hz



**Fonte:** elaboração própria.

As sequências do participante A apresentaram alguns falsos acertos, especialmente quando ocorria uma adição de batida antes do acerto. Isso indica que não se tratava de sincronização precisa, mas de impulsividade em um curto intervalo de tempo, fazendo o *software* registrar o evento como acerto. A principal referência para descartar esses falsos acertos foi a observação da pulsação rítmica; sequências que não seguiam uma lógica sequencial foram excluídas.

## GRÁFICO 11 – Resultado do Participante PF, Grupo TDL, Vel. 2,5 Hz



**Fonte:** elaboração própria.

Com base na hipótese ARRH, os resultados obtidos corroboram a previsão de que déficits no processamento temporal estão associados a um risco elevado de distúrbios do desenvolvimento da fala e da linguagem. O comprometimento em um (ou mais) dos mecanismos subjacentes para o ritmo musical e para o processamento da linguagem verbal (processamento auditivo de granulação fina, redes cerebrais oscilatórias e acoplamento sensório-motor) pode estar relacionado ao processamento atípico de fala/linguagem, ao processamento de ritmo e a comprometimentos motores (Ladányi et al., 2020).

### **9.3 A “Participante” Extra**

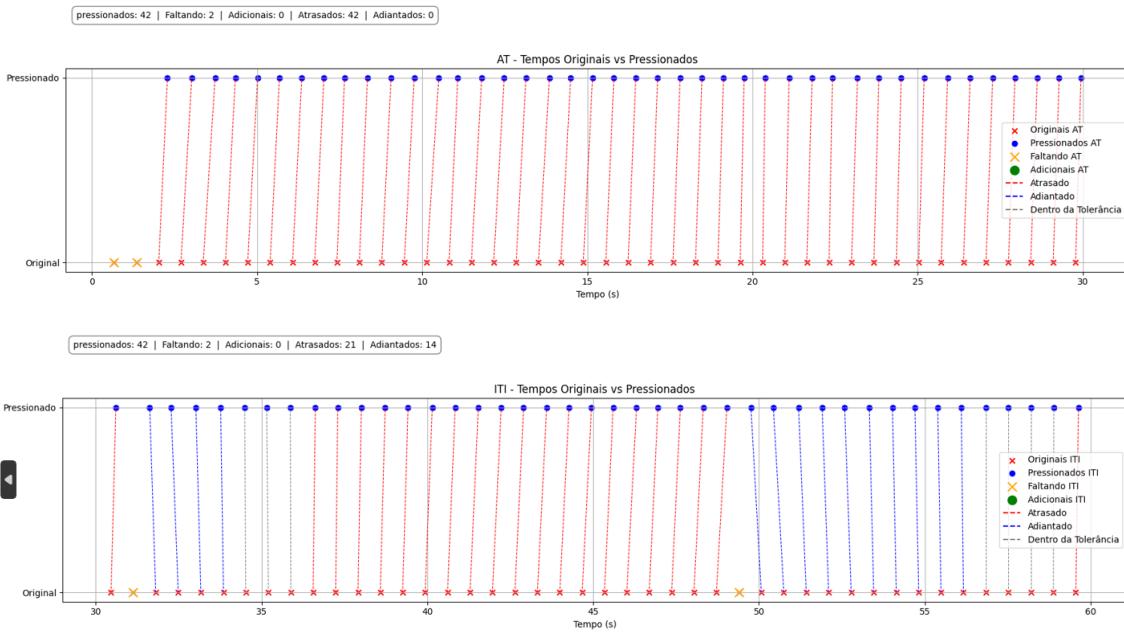
Diante da incerteza sobre se a dificuldade rítmica em crianças com TDL é causada por um déficit temporal ou por dificuldades de atenção e/ou inibição, foi entrevistada uma adulta que recentemente recebeu diagnóstico de TDL. Essa pessoa é fonoaudióloga e realiza atendimento em crianças com TDL, podendo ser considerada um caso adicional para o estudo e, portanto, não uma participante propriamente dita. É relevante apresentar essa entrevista sob a perspectiva de ampliar a discussão sobre a questão rítmica em pessoas diagnosticadas com TDL.

Essa fonoaudióloga, que cresceu ouvindo profissionais dizerem que tinha dislexia, descobriu na idade adulta que, na realidade, possui o Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem. Ao longo de seu crescimento, desenvolveu estratégias para lidar com as dificuldades, o que as crianças de 7 a 10 anos de idade deste estudo ainda não conseguiram. Ela, violinista desde os 8 anos, conta como sempre teve dificuldade rítmica, inclusive atualmente. Apesar de apresentar grande habilidade na execução das peças e receber elogios por sua musicalidade, continuou a ter desafios relacionados à estrutura e ao processamento rítmico.

Durante a realização das tarefas de forma descontraída, na tarefa de discriminação rítmica, toda a vivência musical da participante se manifestou no instante em que precisou distinguir as sequências rítmicas. Ainda assim, apresentou dificuldade na discriminação. Ela relatou a dificuldade e foi observada uma demanda cognitiva de concentração, caso contrário, não conseguiria chegar a uma conclusão. Se esta musicista, diagnosticada com TDL, que estuda música clássica há mais de dez anos, mostrou certa dificuldade em distinguir essas sequências rítmicas, como seria o desempenho de um adulto TDL, sem nenhuma experiência prévia musical?

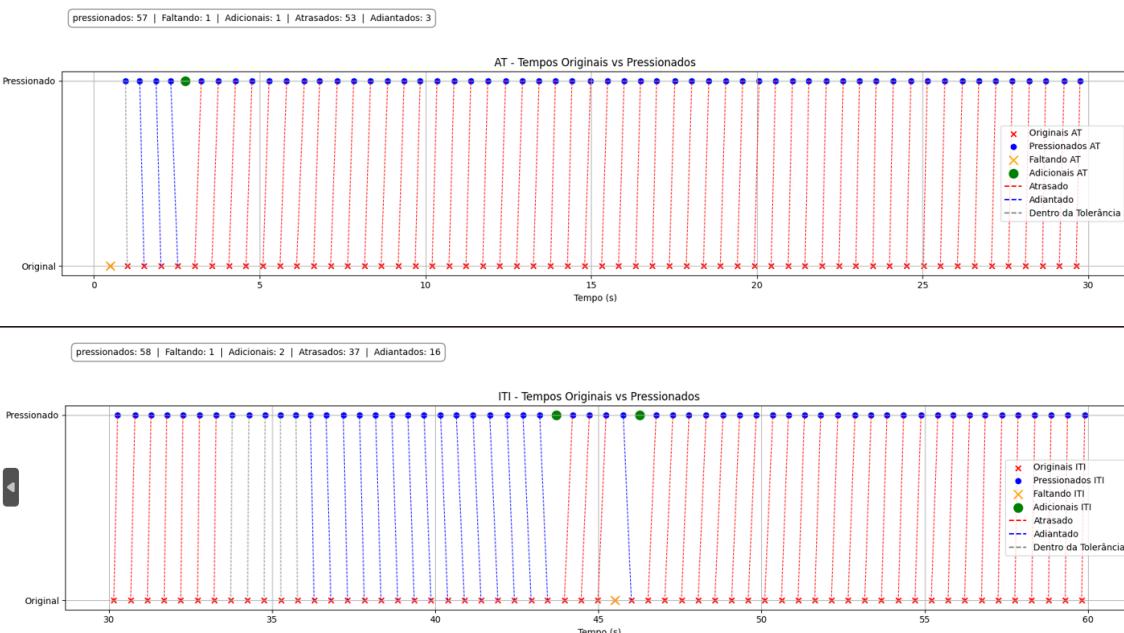
Durante a segunda tarefa, de sincronização, em ambas as condições, na velocidade de 1,5 Hz e 2 Hz, a participante teve poucos acertos dentro da tolerância, apesar de ser musicista e ter uma prática formal em música. Infelizmente, não foi realizada a atividade na última velocidade, de 2,5 Hz, devido à falta de tempo.

### GRÁFICO 12 – Resultado da Participante Extra. Vel. 1,5 Hz



**Fonte:** elaboração própria.

### GRÁFICO 13 – Resultado da Participante Extra. Vel. 2 Hz



**Fonte:** elaboração própria.

Portanto, foi observada uma dificuldade rítmica por parte da violinista com TDL, que, apesar do constante estudo musical formal durante anos, a permanência dessa dificuldade rítmica não era questão de corrigir com o tempo de prática, mas um déficit interno. Segundo o relato da participante extra, essa dificuldade rítmica a acompanha independentemente das obras musicais, sejam elas tecnicamente difíceis ou fáceis.

## 10. Considerações Finais

A proposta deste tema de pesquisa é nova e está emergindo na literatura atual, principalmente dentro do cenário do português brasileiro. Diante disso, foi desenvolvida uma ampla revisão da literatura sobre a relação entre música e linguagem verbal. Delimitou-se, então, o tema da investigação experimental conduzida, voltada para as habilidades rítmicas de crianças falantes de português brasileiro, com diagnóstico de TDL.

Algumas limitações metodológicas ocorreram, como o total de crianças recrutadas para cada grupo. Ao todo, por grupo, os 10 participantes são um número pequeno de amostra, principalmente em um estudo que visa encontrar uma dificuldade em um grupo tão específico. Um número maior de crianças testadas seria mais adequado para a análise. Por isso, afirma-se que esta pesquisa é uma etapa inicial, visando, futuramente, fornecer subsídios para investigações mais amplas e detalhadas sobre a temática.

A possibilidade de as habilidades musicais rítmicas estarem também afetadas cognitivamente diz muito sobre uma nova forma de enxergar o estudo musical como intervenção. Durante a aplicação em ambos os grupos, foram observados alguns detalhes importantes, como a questão de crianças típicas conseguirem realizar as tarefas com mais precisão e atenção, enquanto as TDL, mesmo mostrando-se à vontade e atentas às atividades, apresentavam dificuldade. Por isso, assume-se que a terapia musical como intervenção pode beneficiar crianças com TDL, podendo contribuir para o desenvolvimento de aprendizagem e desenvolvimento cognitivo.

Questiona-se até que ponto os problemas rítmicos podem ser realmente algum prejuízo temporal, internamente cognitivo ou um problema de controle inibitório, tal como uma dificuldade de concentração, afetando o próprio foco durante a escuta dos sons. Contudo, argumenta-se que os resultados inferiores obtidos nas tarefas não devem ser só atribuídos a uma possibilidade de falta de concentração. Principalmente por conta de um detalhe curioso que foi observado durante as aplicações. Cada criança criou sua “técnica” para resolver a atividade, adaptando-se à sua maneira. Por exemplo, no grupo típico, um dos participantes usou a estratégia de marcar a pulsação com o estalo dos dedos para medir precisamente os toques dos áudios, outro marcou cada batida do estímulo com os dedos na mesa. Outro participante, que tinha a aula de matemática como sua preferida, escolheu contar cada batida do estímulo e conferir se, além de soar diferente, o número de batidas para cada áudio se diferenciava. As crianças com TDL também realizaram métodos próprios para tentar acertar as discriminações, mas ao tentarem marcar uma

pulsação, perdiam a batida sem conseguir mantê-la constante e quando cantavam, muitas dessas sequências rítmicas já estavam ritmicamente diferentes dos estímulos apresentados.

Existir uma dificuldade rítmica em uma criança com Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem pode ser visto como uma resposta de um sistema cognitivo que precisa de mais tempo para processar os estímulos externos. Contudo, a música, como é inflexível, não abre espaço para a arritmia, tampouco para a perda da pulsação. O estímulo constante, a precisão matemática dos valores das notas musicais, ou seja, a exigência cognitiva que existe na música, têm se mostrado um importante aspecto para as crianças com transtornos neurológicos.

Não se deve deixar de lado a questão da aptidão musical, a qual é uma manifestação biológica diferente para cada pessoa durante a prática musical. Contudo, como visto no caso da ‘participante’ extra, uma musicista há mais de dez anos, que, segundo relato dela, sempre demonstrou facilidade em estudar o violino, também manifestou dificuldades no ritmo. Se, nem em mais de 10 anos de prática musical, essa musicista não superou as dificuldades rítmicas, seria esse um problema interno, cognitivo e não atrelado ao estudo?

O caso da violinista é um questionamento sendo posto nesta conclusão para alfinetar, para arranhar sem intenção de explicar. Com certeza, novos estudos são precisos para chegar a uma conclusão definitiva. Por mais que na literatura estrangeira já exista uma quantidade expressiva de artigos e pesquisas que observam dificuldade rítmica em crianças com problemas de aprendizado como TDL, dislexia, dentre outros (como apresentados na dissertação), definitivamente, esta dissertação é um passo inicial rumo a futuras investigações sobre uma submodularidade mais flexível, que não necessariamente nega a de Fodor (1983).

## REFERÊNCIAS

- ALCOCK, K. J.; PASSINGHAM, R. E.; WATKINS, A. J.; VARGHA-KHADEM, F.** Pitch and timing abilities in inherited speech and language impairment. *Brain and Language*, v. 75, p. 34-46, 2000.
- ALLEN, E. J.; BURTON, P. C.; OLMAN, C. A.; OXENHAM, A. J.** Representations of pitch and timbre variation in human auditory cortex. *The Journal of Neuroscience*, v. 37, n. 5, p. 1284–1293, 2017. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.2336-16.2016.
- AMADUCCI, L.; GRASSI, E.; BOLLER, F.** Maurice Ravel and right-hemisphere musical creativity: influence of disease on his last musical works? *European Journal of Neurology*, v. 9, n. 1, p. 75-82, Jan. 2002. DOI: 10.1046/j.1468-1331.2002.00351.X.
- ANDERSON, M. L.** Neural reuse: A fundamental organizational principle of the brain. *Behavioral and Brain Sciences*, Cambridge, v. 33, p. 245–313, 2010.
- ANDERSON, M. L.** *After phrenology: Neural reuse and the interactive brain*. Cambridge, MA: MIT Press, 2014.
- ANVARI, S. H.; TRAINOR, L. J.; WOODSIDE, J.; LEVY, B. A.** Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, v. 83, p. 111–130, 2002.
- ASSANEO, M. F.; POEPEL, D.** The coupling between auditory and motor cortices is rate-restricted: Evidence for an intrinsic speech-motor rhythm. *Science Advances*, v. 4, n. 2, eaao3842, 2018. DOI: 10.1126/sciadv.aao3842.
- AYOTTE, J.; PERETZ, I.; HYDE, K.** Congenital amusia: A group study of adults afflicted with a music-specific disorder. *Brain*, v. 125, p. 238-251, 2002.
- BEDOIN, N.; BRISSEAU, L.; MOLINIER, P.; ROCH, D.; TILLMANN, B.** Temporally regular musical primes facilitate subsequent syntax processing in children with specific language impairment. *Frontiers in Neuroscience*, v. 10, 2016.
- BEIER, E. J.; FERREIRA, F.** The Temporal Prediction of Stress in Speech and Its Relation to Musical Beat Perception. *Frontiers in Psychology*, v. 9, p. 431, 2018. DOI: 10.3389/fpsyg.2018.00431. PMID: 29666600; PMCID: PMC5892344
- BERGMAN NUTLEY, S.; DARKI, F.; KLINGBERG, T.** Music practice is associated with development of working memory during childhood and adolescence. *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 7, 2014.
- BEVER, T. G.; CHIARELLO, R. J.** Cerebral dominance in musicians and nonmusicians. *Science*, v. 185, n. 4150, p. 537-539, 9 ago. 1974.
- BEVER, Thomas; POEPPEL, David.** Analysis by synthesis: a (re-)emerging program of research for language and vision. *Biolinguistics*, [S. l.], v. 4, n. 4, p. 174-200, set. 2010. DOI: 10.5964/bioling.8783.
- BISHOP, D. V., SNOWLING, M. J., THOMPSON, P. A., GREENHALGH, T., & CATALISE CONSORTIUM (2016).** CATALISE: A multinational and multidisciplinary Delphi consensus study. Identifying language impairments in children. *PLoS ONE*, v. 11, n. 7, 2016.

**BISHOP, D. V. M.** Why is it so hard to reach agreement on terminology? The case of developmental language disorder (DLD). *International Journal of Language & Communication Disorders*, v. 52, n. 6, p. 671–680, nov./dez. 2017.

**BHATARA, A.; YEUNG, H. H.; NAZZI, T.** Foreign language learning in French speakers is associated with rhythm perception, but not with melody perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 41, p. 277–282, 2015.

**BRANCO, T.; MOREIRA, M.; CASTRO, A.** Sobre concordância nominal em crianças com Perturbação Específica do Desenvolvimento da Linguagem. *Textos Selecionados, XXVI Encontro da Associação Portuguesa de Linguística*, Lisboa, APL, 2011, p. 111-124.

**BRUST, J.** Music and language: musical alexia and agraphia. *Brain*, Oxford, v. 103, n. 2, p. 367–392, 1980. DOI: <https://doi.org/10.1093/brain/103.2.367>.

**BULTZLAFF, R.** Can music be used to teach reading? *Journal of Aesthetic Education*, v. 34, p. 167-178, 2000.

**BUZSÁKI, G.** *The brain from the inside out*. Oxford: Oxford University Press, 2019.

**BUZSÁKI, G.; DRAGUHN, A.** Neuronal oscillations in cortical networks. *Science*, v. 304, n. 5679, p. 1926–1929, 2004. DOI: 10.1126/science.1099745.

**CALDERONE, D. J., LAKATOS, P., BUTLER, P. D., & CASTELLANOS, F. X.** Entrainment of neural oscillations as a modifiable substrate of attention. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 18, n. 6, p. 300–309, 2014. DOI: 10.1016/j.tics.2014.02.005.

**CAPLAN, D.; WATERS, G. S.** Verbal working memory and sentence comprehension. *Behavioral and Brain Sciences*, v. 22, p. 77-126, 1999.

**CARRUTHERS, P.** *A Arquitetura da Mente*. Oxford: Clarendon Press, 2006.

**CECCHETTI, G.; HERFF, S. A.; ROHRMEIER, M. A.** Musical garden paths: Evidence for syntactic revision beyond the linguistic domain. *Cognitive Science*, v. 46, 2022.

**CHAN, A. S.; HO, Y. C.; CHEUNG, M. C.** Music training improves verbal memory. *Nature*, v. 396, p. 128, 1998.

**CHOMSKY, Noam.** *Aspects of the theory of syntax*. Cambridge, MA: MIT Press, 1965.

**CHOMSKY, N.** *Knowledge of Language: Its Nature, Origin, and Use*. New York: Praeger, 1986.

**CHOMSKY, N.** *The Minimalist Program*. Cambridge, MA: MIT Press, 1995.

**CHURCHLAND, P.** Perceptual plasticity and theoretical neutrality: A reply to Jerry Fodor. *Philosophy of Science*, Chicago, v. 55, n. 2, p. 167–187, 1988.

**CLÉMENT, S.; PLANCHOU, C.; BÉLAND, R.; MOTTE, J.; SAMSON, S.** Singing abilities in children with Specific Language Impairment (SLI). *Frontiers in Psychology*, v. 6, 2015.

**CORRÊA, L. M. S.** O que, afinal, a criança adquire ao adquirir uma língua? *Letras de Hoje*, v. 42, n. 1, p. 7-34, 2007.

**CORRÊA.** O DEL à luz de hipóteses psico/linguísticas: avaliação de habilidades linguísticas e implicações para uma possível intervenção em problemas de linguagem de natureza sintática. *Veredas* (UFJF – online), Juiz de Fora, v.16, p.207–236, 2012.

**CORRÊA, L. M. S.** Aquisição da linguagem como processamento de informação nas interfaces. In: Mailce Borges Mota, Cristina Name. (Org.). *Interface linguagem e cognição: contribuições da psicolinguística*. 1ed. Tubarão: Copiart/apoio CAPES, 2019, v. 1, p. 13-40.

**CORRÊA,** O Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem Seguindo uma Abordagem de Psicolinguística (livro em preparação, S/D)

**CORRÊA,** Leticia Maria Sicuro; **AUGUSTO,** Marina R. A. Manifestações do DEL (Déficit/Distúrbio Específico da Linguagem) no domínio da sintaxe à luz de um modelo integrado de computação on-line. *Revista da ABRALIN*, v. 12, n. 2, p. 35–62, jul./dez. 2013.

**CORRIVEAU, K. H.; GOSWAMI, U.** Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: Tapping to the beat. *Cortex*, v. 45, n. 1, p. 119-130, 2009.

**CORRIVEAU, K. H.; PASQUINI, E.; GOSWAMI, U.** Basic auditory processing skills and specific language impairment: A new look at an old hypothesis. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, v. 50, n. 3, p. 647–666, 2007.

**CRESCIENTE.NET.** El círculo de quintas: explicación y cómo usarlo. [Imagen]. Disponível em: <https://cresciente.net/teoria-musical-basica/el-circulo-de-quintas-explicacion-y-como-usarlo/>. Acesso em: 30 set. 2025.

**CRESTANI,** Anelise Henrich; **OLIVEIRA,** Lucièle Dias; **VENDRUSCOLO,** Josiane Fernanda; **RAMOS-SOUZA,** Ana Paula. Distúrbio específico de linguagem: a relevância do diagnóstico inicial. *Revista CEFAC*, São Paulo, v. 15, n. 1, p. 228–237, jan./fev. 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-18462013005000014>

**COSTA-GIOMI, E.** The effects of three years of piano instruction on children's cognitive development. *Journal of Research in Music Education*, v. 47, p. 198-212, 1999.

**COSTA, J.; GROLLA,** E. Pronomes, clíticos e objetos nulos: dados de produção e compreensão. In: FREITAS, M.; SANTOS, A., 2017

**CUMMING, R.; WILSON, A.; GOSWAMI, U.** Basic auditory processing and sensitivity to prosodic structure in children with specific language impairments: A new look at a perceptual hypothesis. *Frontiers in Psychology*, v. 6, 2015.

**CYBULSKA, E. M.** Boléro unravelled: a case of musical perseveration. *Psychiatric Bulletin*, v. 21, n. 9, p. 576–577, 1997.

**DARVESH, Sultan; CASH, Meghan Kirsten; MARTIN, Earl; ENGELHARDT, Eliasz.** Expressive amusia and aphasia: the story of Maurice Ravel. *Dementia & Neuropsychologia*, v. 18, 2024.

**DEGE, F.; SCHWARZER, G.** The effect of a music program on phonological awareness in preschoolers. *Frontiers in Psychology*, v. 2, p. 124, 2011.

**DIAMOND, A.** Executive functions. *Annual Review of Psychology*, v. 64, p. 135–168, 2013. DOI: 10.1146/annurev-psych-113011-143750.

**DOWNES, Stephen M.** Evolutionary Psychology. In: ZALTA, Edward N.; NODELMAN, Uri (eds.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy*, Spring 2024 Edition. Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/spr2024/entries/evolutionary-psychology/>. Acesso em: 13 jun. 2025.

**DÜNGS, G.** A interface música-cérebro-linguagem: a experiência musical e o desenvolvimento das habilidades fonológicas. 2024. Dissertação (Mestrado em Linguística) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024. Orientador: Marije Soto.

**ELMAN, J. L., BATES, E. A., JOHNSON, M. H., KARMILOFF-SMITH, A.** Rethinking innateness: A connectionist perspective on development. Cambridge: MIT Press, 1996.

**ESSON, M.; CHOBERT, J.; MARIE, C.** Transfer of training between music and speech: Common processing, attention, and memory. *Frontiers in Psychology*, v. 2, art. 94, 2011. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00094.

**FEDORENKO, E. PATEL, A., CASASANTO, D., WINAWER, J., GIBSON, E.** Structural integration in language and music: Evidence for a shared system. *Memory & Cognition*, v. 37, p. 1–9, 2009.

**FERNALD, A.; McROBERTS, G.** Prosodic bootstrapping: A critical analysis of the argument and the evidence. In: MORGAN, J. L.; DEMUTH, K. (Eds.). *Signal to syntax: Bootstrapping from speech to grammar in early acquisition*. Mahwah, NJ: Erlbaum, 1996. p. 365–388.

**FERNÁNDEZ, E. M.; CAIRNS, H. S.** Fundamentals of Psycholinguistics. Malden, MA, USA/Oxford, UK: Wiley-Blackwell, 2011. Capítulo 5.

**FEY, M.; LEONARD, L.** Pragmatic skills of children with specific language impairment. In: GALLAGHER, T.; PRUTTING, C. (Ed.). *Pragmatic assessment and intervention issues in language*. San Diego: College-Hill Press, 1983. p. 65–82.

**FITCH, W. T.; MARTINS, M. D.** Hierarchical processing in music, language, and action: Lashley revisited. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1316, n. 1, p. 87–104, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12406>.

**FIVEASH, A; BEDOIN, N; GORDON, R; e TILLMANN, B.** Processing rhythm in speech and music: Shared mechanisms and implications for developmental speech and language disorders. *Neuropsychology*, v. 35, n. 8, p. 771–791, nov. 2021.

**FLAUGNACCO, LOPEZ, L.; TERRIBILI, C.; MONTICO, M.; ZOIA, S.; SCHON, D.** Music training increases phonological awareness and reading skills in developmental dyslexia: A randomized control trial. *PLOS ONE*, v. 10, e0138715, 2015.

**FODOR, J. A.** The Language of Thought. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1975.

**FODOR, J.** The Modularity of Mind. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1983.

**FODOR, J. A.** *The mind doesn't work that way: The scope and limits of computational psychology*. Cambridge, MA: MIT Press, 2000.

**FODOR, J. A.** LOT 2: The Language of Thought Revisited. Oxford: Oxford University Press, 2008.

**FORGEARD, M., WINNER, E., NORTON, A., & SCHLAUG, G.** Practicing musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLOS ONE*, v. 3, n. 10, e3566, 2008.

**FOXTON, J. M., TALCOTT, J. B., WITTON, C., BRACE, H., MCINTYRE, F., & GRIFFITHS, T. D.** Reading skills are related to global, but not local, acoustic pattern perception. *Nature Neuroscience*, v. 6, p. 343–344, 2003.

**FRIEDMANN, N.; BELLETTI, A.; RIZZI, L.** *Relativized relatives: Types of intervention in the acquisition of A-bar dependencies*. Lingua, v. 119, p. 67-88, 2009.

**GALABURDA, A. M., LEMAY, M., KEMPER, T. L., & GESCHWIND, N.** Right-left asymmetries in the brain. *Science*, v. 199, p. 852–856, 1978.

**GARDNER, H.** *Frames of Mind, The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books, 1983.

**GARDINER, M. F., FOX, A., KNOWLES, F., & JEFFREY, D.** Learning improved by arts training. *Nature*, v. 381, p. 284, 1996.

**GEORGIOU, G. K., PROTOPAPAS, A., PAPADOPoulos, T. C., SKALOUMBAKAS, C., & PARRILA, R.** Auditory temporal processing and dyslexia in an orthographically consistent language. *Cortex*, 2010. DOI: 10.1016/j.cortex/2010.06.006.

**GIRAUD, A.; POEPEL, D.** Cortical oscillations and speech processing: Emerging computational principles and operations. *Nature Neuroscience*, v. 15, n. 4, p. 511–517, 2012. DOI: 10.1038/nn.3063. [PubMed: 22426255].

**GORDON, H. W.; BOGEN, J. E.** Hemispheric lateralization of singing after intracarotid sodium amylobarbitone. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, v. 37, p. 727–738, 1974.

**GORDON, R. L.; SHIVERS, C. M.; WIELAND, E. A.; KOTZ, S. A.; YODER, P. J.; McAULEY, J. D.** Musical rhythm discrimination explains individual differences in grammar skills in children. *Developmental Science*, v. 18, p. 635–644, 2015. DOI: 10.1111/desc.12230.

**GOSWAMI, U.** A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 15, n. 1, p. 3–10, 2011. doi: 10.1016/j.tics.2010.10.001.

**GOSWAMI, U.** Language, music, and children's brains: A rhythmic timing perspective on language and music as cognitive systems. In: REBUSCHAT, P.; ROHRMEIER, M.; HAWKINS, J. A.; CROSS, I. (Eds.). *Language and music as cognitive systems*. Oxford, UK: Oxford University Press, 2011. p. 292–301.

**GOSWAMI, U.; THOMSON, J.; RICHARDSON, U.; STAINTHORP, R.; HUGHES, D.; ROSEN, S.; SCOTT, S. K.** Amplitude Envelope Onset and developmental dyslexia: A new hypothesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 99, p. 10911–10916, 2002.

**GOSWAMI, U.; WANG, HL.; CRUZ, A.; FOSKER, T.; MEAD, N.; HUSS, M.** Language-universal deficits in developmental dyslexia: English, Spanish, and Chinese. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2010. DOI: 10.1101/jocn.2010.21453.

**HALLE, M.; STEVENS, K. N.** Speech recognition: a model and a program for research. *IRE Transactions on Information Theory*, v. 8, p. 155-159, 1962. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIT.1962.1057686>.

- HÄMÄLÄINEN, J.; LEPPÄNEN, PH.; TORPPA, M.; MÜLLER, K.; LYYTINEN, H.** Detection of sound rise time by adults with dyslexia. *Brain and Language*, v. 94, p. 32–42, 2005.
- HANNA-PLADDY, B.; MACKAY, A.** The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology*, v. 25, n. 3, p. 378–386, 2011. DOI: 10.1037/a0021895.
- HAUSEN, M., TORPPA, R., SALMELA, V. R., VAINIO, M., & SÄRKÄMÖ, T.** Music and speech prosody: A common rhythm. *Frontiers in Psychology*, v. 4, p. 566, 2013. DOI: 10.3389/fpsyg.2013.00566.
- HEARD, M.; LEE, Y. S.** Shared neural resources of rhythm and syntax: An ALE meta-analysis. *Neuropsychologia*, v. 137, p. 107284, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.107284>.
- HERHOLZ, S. C.; ZATORRE, R. J.** Musical training as a framework for brain plasticity: Behavior, function, and structure. *Neuron*, v. 76, n. 3, p. 486–502, 2012. DOI: 10.1016/j.neuron.2012.10.011.
- HETLAND, L.** Learning to make music enhances spatial reasoning. *Journal of Aesthetic Education*, v. 34, p. 179–238, 2000.
- HIRSH-PASEK, K.; KEMLER NELSON, D.; JUSCZYK, P.; CASSIDY, K.** Clauses are perceptual units for young infants. *Cognition*, v. 26, p. 269–286, 1987.
- HO, Y. C.; CHEUNG, M. C.; CHAN, A. S.** Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology*, v. 17, p. 439–450, 2003.
- HURST, J. A. et al.** An extended family with dominantly inherited speech disorder. *Developmental Medicine and Child Neurology*, v. 32, p. 352–355, 1990.
- HYDE, K. L.; PERETZ, I.** Brains that are out-of-tune but in-time. *Psychological Science*, v. 15, p. 356–360, 2004.
- HYDE, K.; LERCH, J.; NORTON, A.; FORGEARD, M.; WINNER, E.; EVANS, A. C.; SCHLAUG, G.** The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study. *The Journal of Neuroscience*, v. 29, n. 10, p. 3019–3025, 2009. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.5118-08.2009.
- JANCKE, L.** The relationship between music and language. *Frontiers in Psychology*, v. 3, 2012. doi: 10.3389/fpsyg.2012.00123.
- JACKENDOFF, R.** *Consciousness and the computational mind*. Cambridge: MIT Press, 1987.
- JACKENDOFF, R.** Musical parsing and musical affect. In: **SUNDBERG, J.; NORD, L.; CARLSON, R.** (Eds.). *Music, language, speech, and brain* (pp. 159–167). Macmillan Press, 1991.
- JACKENDOFF, R.** The execution of complex actions and recursive hierarchy: A comparison with syntax and prolongational structure. In: *Language, Consciousness, Culture: Essays on Mental Structure* (pp. 239–241). MIT Press, 2007.
- JACKENDOFF, R.** Parallels and nonparallels between language and music. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, v. 26, n. 3, p. 195–204, Feb. 2009. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/10.1525/mp.2009.26.3.195>.
- JAKUBOWICZ, C.** Computational complexity and the acquisition of functional categories by French-speaking children with SLI. *Linguistics*, v. 41, p. 175–211, 2003.

**JAKUBOWICZ**, C. (2006/2018). Hipóteses psicolinguísticas sobre a natureza do Déficit Específico da Linguagem (DEL). Em L. M. S. Correa (Ed.) *Aquisição da Linguagem e Problemas do Desenvolvimento Linguístico*. Rio de Janeiro: Editora da PUC-Rio, 2<sup>a</sup> edição. Disponível em: <http://www.editora.puc-rio.br/media/aquisicao%20miolo1.pdf>. Acessado em: 21 de outubro de 2025.

**JENTSCHKE**, S.; **KOELSCH**, S.; **FRIEDERICI**, A. D. Investigating the relationship of music and language in children: influences of musical training and language impairment. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1060, p. 231–242, 2005.

**JENTSCHKE**, S.; **KOELSCH**, S.; **SALLAT**, S.; **FRIEDERICI**, A. D. Crianças com distúrbio específico de linguagem também apresentam comprometimento do processamento sintático-musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 20, n. 11, p. 1940–1951, 2008.

**JOHANSSON**, B. B. Language and music: What do they have in common and how do they differ? A neuroscientific approach. *European Review*, v. 16, n. 4, p. 413, 2008. doi: 10.1017/s1062798708000379.

**JONES**, M. *Time will tell: A theory of dynamic attending*. Oxford: Oxford University Press, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/oso/9780190618216.001.0001>.

**JONES**, M. R. Time, our lost dimension: toward a new theory of perception, attention and memory. *Psychological Review*, v. 83, n. 5, p. 323–355, 1976.

**JUSCZYK**, P.; **HOHNE**, E. Infants' memory for spoken words. *Science*, v. 277, p. 1984–1986, 1997.

**JUSCZYK**, P. W.; **KRUMHANSL**, C. L. Pitch and rhythmic patterns affecting infants' sensitivity to musical phrase structure. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, v. 19, p. 627–640, 1993.

**JUSCZYK**, Peter W.; **NELSON**, Deborah G. Kemler. Unidades sintáticas, prosódia e realidade psicológica durante a infância. In: MORGAN, James L.; DEMUTH, Katherine (org.). *Sinal para sintaxe: Bootstrapping from Speech to Grammar in Early Acquisition*. 1. ed. [S.l.]: Imprensa de Psicologia, 1996. p. 20. ISBN 9781315806822.

**KRAUS**, N.; **CHANDRASEKARAN**, B. Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience*, v. 11, n. 8, p. 599–605, ago. 2010. DOI: 10.1038/nrn2882.

**KOELSCH**, S. Toward a neural basis of music perception—a review and updated model. *Frontiers in Psychology*, v. 2, article 110, 2011. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00110>.

**KOELSCH**, S.; **VUUST**, P.; **FRISTON**, K. Predictive Processes and the Peculiar Case of Music. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 23, p. 63–77, 2019. DOI: 10.1016/j.tics.2018.10.006.

**KREIDLER**, Kathryn; **VUOLO**, Janet; **GOFFMAN**, Lisa. *Children with developmental language disorder show deficits in the production of musical rhythmic groupings*. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, v. 66, n. 11, p. 4481–4496, 9 nov. 2023. DOI: [https://doi.org/10.1044/2023\\_JSLHR-23-00197](https://doi.org/10.1044/2023_JSLHR-23-00197).

**KRUMHANSL**, C. L.; **JUSCZYK**, P. W. Infants' perception of phrase structure in music. *Psychological Science*, v. 1, p. 70–73, 1990.

**KUNERT**, R.; **WILLEMS**, RM.; **CASASANTO**, D.; **PATEL**, AD.; **HAGOORT**, P. Music and language syntax interact in Broca's area: An fMRI study. *PLOS ONE*, [S.l.], v. 10, n. 11, e0141069, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0141069.

**LADÁNYI, E., PERSICI, V., FIVEASH, A., TILLMANN, B., & GORDON, R. L.** Is atypical rhythm a risk factor for developmental speech and language disorders? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, e1528, 2020. doi:10.1002/wcs.1528.

**LASHLEY, K.** The problem of serial order in behavior. In: JEFFRESS, L. A. (Ed.). *Cerebral Mechanisms in Behavior: the Hixon Symposium*. New York: Wiley, 1951. p. 112–146.

**LAW, L.; ZENTNER, M.** Assessing musical abilities objectively: Construction and validation of the profile of music perception skills. *PLoS One*, v. 7, n. 12, e52508, 2012. DOI: 10.1371/journal.pone.0052508.

**LEE, Y. S., ROGERS, C. S., GROSSMAN, M., WINGFIELD, A., & PEELLE, J. E.** Hemispheric dissociations in regions supporting auditory sentence comprehension in older adults. *Brain Aging*, v. 2, p. 100051, 27 ago. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nbas.2022.100051>.

**LENG, X.; SHAW, G.** Towards a neural theory of higher brain function using music as a window. *Concepts in Neuroscience*, v. 2, p. 229–258, 1991.

**LENNEBERG, Eric H.** *Biological foundations of language*. New York: Wiley, 1967.

**LEONARD, L. B.** *Children with Specific Language Impairment*. Cambridge, MA: MIT Press, 2014.

**LERDAHL, F.; JACKENDOFF, R. S.** *A generative theory of tonal music*. Cambridge: MIT Press, 1983.

**LEVITIN, D. J.; MENON, V.** Musical structure is processed in "language" areas of the brain: a possible role for Brodmann Area 47 in temporal coherence. *NeuroImage*, v. 20, p. 2142-2152, 2003.

**LEWIS, R. L.; VASISHTH, S.; VAN DYKE, J. A.** Computational principles of working memory in sentence comprehension. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 10, p. 447-454, 2006.

**LI, Q., WANG, X., WANG, S., XIE, Y., LI, X., XIE, Y., & LI, S.** Musical training induces functional and structural auditory-motor network plasticity in young adults. *Human Brain Mapping*, v. 39, n. 5, p. 2098–2110, 2018. DOI: 10.1002/hbm.23989.

**LI, Degao; WANG, Xing; LI, Yi; SONG, Dangui; MA, Wenling.** Resource sharedness between language and music processing: An ERP study. *Journal of Neurolinguistics*, v. 76, p. 101136, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jneuroling.2023.101136>

**LIEGOIS-CHAUVEL, C.; PERETZ, I.; BABAI, M.; LAGUITON, V.; CHAUVEL, P.** Contribution of different cortical areas in the temporal lobes to music processing. *Brain*, v. 121, p. 1853-1867, 1998.

**LINNAVALLI, T.; PUTKINEN, V.; LIPSANEN, J.; HUOTILAINEN, M.; TERVANIEMI, M.** Music playschool enhances children's linguistic skills. *Scientific Reports*, v. 8, p. 8767, 2018. DOI: 10.1038/s41598-018-27126-5.

**LONDON, J.** *Hearing in time: Psychological aspects of musical meter*. 2. ed. Oxford: Oxford University Press, 2012.

**LOUI, P.; KROOG, K.; ZUK, J.; WINNER, E.; SCHLAUG, G.** Relating pitch awareness to phonemic awareness in children: implications for tone-deafness and dyslexia. *Frontiers in Psychology*, v. 2, p. 111, 2011. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00111.

**MABILIN** – Módulos de Avaliação de Habilidades Linguísticas. Relatório de Projeto aprovado no Edital Cientistas do Nossa Estado, Fundação Carlos Chagas de Apoio à Pesquisa (FAPERJ), 2000. Disponível em: <<https://mabilin.biobd.inf.puc-rio.br/sobre/>>. Acesso em: 25 abr. 2025.

**MADISON, G.; MERKER, B.** Human sensorimotor tracking of continuous subliminal deviations from isochrony. *Neuroscience Letters*, v. 370, n. 1, p. 69–73, 2004. DOI: 10.1016/j.neulet.2004.07.094.

**MAESS, B.; KOELSCH, S.; GUNTER, T. C.; FRIEDERICI, A. D.** Musical syntax is processed in Broca's area: a MEG study. *Nature Neuroscience*, v. 4, p. 540–545, 2001.

**MAGNE, C.; SCHÖN, D.; BESSON, M.** Musician children detect pitch violations in both music and language better than non-musician children: behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 18, p. 199–211, 2006.

**MANKEL, K.; BIDELMAN, G. M.** Inherent auditory skills rather than formal music training shape the neural encoding of speech. *Frontiers in Neuroscience*, [S.l.], v. 12, p. 309, 2018. DOI: 10.3389/fnins.2018.00309.

**MARIN, M. M.** Effects of early musical training on musical and linguistic syntactic abilities. In: *The Neurosciences and Music III—Disorders and Plasticity (Ann. N.Y. Acad. Sci., 1169)*, p. 187–190, 2009. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2009.04777.x.

**MARINIS, T.** On the nature and cause of SLI: A view from sentence processing and infant research. *Lingua*, v. 121, n. 3, p. 463–476, 2011.

**MAVLOV, L.** Amusia due to rhythm agnosia in a musician with left hemisphere damage: a non-auditory supramodal defect. *Cortex*, v. 16, n. 2, p. 331–338, 1980. DOI: 10.1016/s0010-9452(80)80070-0.

**MCARTHUR, G.; BISHOP, D.** Auditory perceptual processing in people with reading and oral language impairments: Current issues and recommendations. *Dyslexia*, v. 7, p. 150–170, 2001.

**MCAULEY, J. D.** Tempo and rhythm. In: JONES, M. R. (Ed.). *Music Perception*. Springer Science+Business Media, 2010.

**MCCAULEY, R. N.; HENRICH, J.** Susceptibility to the Müller-Lyer illusion, theory-neutral observation, and the diachronic penetrability of the visual input system. *Philosophical Psychology*, v. 19, n. 1, p. 79–101, 2006.

**MCGURK, H.; MACDONALD, J.** Hearing lips and seeing voices. *Nature*, Londres, v. 391, p. 756, 1976.

**MCKAY, C. M.** No evidence that music training benefits speech perception in hearing-impaired listeners: A systematic review. *Trends in Hearing*, v. 25, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/2331216520985678>. Acesso em: 18 maio 2025.

**MCMULLEN, E.; SAFFRAN, J. R.** Music and language: a developmental comparison. *Music Perception*, v. 21, n. 3, p. 289–311, 2004. DOI: 10.1525/mp.2004.21.3.289.

**MED, B.** *Teoria da música*. 4. ed. Brasília: Editora MusiMed, 1996. ISBN: 9788585886028. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=G2IWAAAACAAJ>.

**MEHLER, J.** Language related dispositions in early infancy. In: MEHLER, J.; FOX, R. (org.). *Neonate cognition: beyond the buzzing, blooming confusion*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1984.

**MEHR, S. A.; SCHACHNER, A.; KINGSBURY, H.; SPIELER, D. A.; SCHNEIDER, J.; WINN, M. J.** *Two randomized trials provide no consistent evidence for nonmusical cognitive benefits of brief preschool music enrichment.* *PLoS ONE*, v. 8, n. 12, p. e82007, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0082007>. Acesso em: 22 de maio, 2025.

**MILLER, B. L.; BOONE, K.; CUMMINGS, J. L.; READ, S. L.; MISHKIN, F.** Functional correlates of musical and visual ability in frontotemporal dementia. *British Journal of Psychiatry*, v. 176, p. 458-463, 2000.

**MILOVANOV, R.; HUOTILAINEN, M.; VÄLIMÄKI, V.; ESQUEF, P. A. A.; TERVANIEMI, M.** Musical aptitude and second language pronunciation skills in school-aged children: neural and behavioral evidence. *Brain Research*, v. 1194, p. 81-89, 2008.

**MILOVANOV, R.; TERVANIEMI, M.** The interplay between musical and linguistic aptitudes: a review. *Frontiers in Psychology*, v. 2, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00321>.

**MOGHARBEL, C.; SOMMER, G.; DEUTSCH, W.; WENGLORZ, M.; LAUFS, I.** The vocal development of a girl who sings but does not speak. *Musicae Scientiae*, p. 235-258, 2005-2006.

**MORENO, S.; MARQUES, C.; SANTOS, A.; SANTOS, M.; CASTRO, S. L.; BESSON, M.** Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: more evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex*, v. 19, p. 712-723, 2008. DOI: <10.1093/cercor/bhn120>.

**MORGAN, A.; FISHER, S. E.; SCHEFFER, I.; HILDEBRAND, M.** FOXP2-related speech and language disorder. In: ADAM, M. P. et al. (ed.). *GeneReviews®*. Seattle: University of Washington, 2016.

**MORILLON, B.; BAILLET, S.** Motor origin of temporal predictions in auditory attention. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 114, n. 42, p. E8913-E8921, 2017. DOI: 10.1073/pnas.1705373114.

**MUNEAUX, M.; ZIEGLER, J. C.; TRUC, C.; THOMSON, J.; GOSWAMI, U.** Deficits in beat perception and dyslexia: evidence from French. *NeuroReport*, v. 15, p. 1255-1259, 2004. DOI: <10.1097/01.wnr.0000127459.31232.c4>

**MOUNTFORD, H.S.; BRADEN, R.; NEWBURY, D.F.; MORGAN, A.T.** The Genetic and Molecular Basis of Developmental Language Disorder: A Review. *Children* 2022, 9, 586 <https://doi.org/10.3390/children9050586>

**MUSACCHIA, G.; SAMS, M.; SKOE, E.; KRAUS, N.** Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 104, n. 40, p. 15894-15898, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0701498104>.

**MUSZKAT, M.** Música e Neurodesenvolvimento: em busca de uma poética musical inclusiva. *Literartes*, v. 1, n. 10, p. 233-244, 2019. DOI: <10.11606/issn.2316-9826.literartes.2019.163338>

**MUSZKAT, Mauro; CORREIA, Cleo M. F.; CAMPOS, Sandra M.** Música e neurociências. *Revista Neurociências*, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 70-75, 2002.

**NANTAIIS, K. M.; SCHELLENBERG, E. G.** The Mozart effect: An artifact of preference. *Psychological Science*, v. 10, p. 370-373, 1999.

**NASCIMENTO**, Leandra Alves do. Efeitos do processamento musical na compreensão leitora. 2024. Dissertação (Mestrado em Linguística) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024. Orientador: Mercedes Marcilese

**NEARY, D., SNOWDEN, J. S., NORTHEN, B., & GOULDING, P.** Dementia of frontal lobe type. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry*, v. 51, p. 353-361, 1988.

**NEOPHYTOU, KYRIAKI; WILEY, ROBERT; LITOVSKY, CELIA; TSAPKINI, KYRANA; RAPP, BRENDA.** The right hemisphere's capacity for language: evidence from primary progressive aphasia. *Cerebral Cortex*, v. 33, n. 18, p. 9971-9985, 15 set. 2023. DOI: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhad258>

**NEVES, LEONOR; CORREIA, ANA ISABEL; CASTRO, SÃO LUÍS; MARTINS, DANIEL; LIMA, CÉSAR F.** Does music training enhance auditory and linguistic processing? A systematic review and meta-analysis of behavioral and brain evidence. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, v. 140, p. 104777, 2022. DOI: 10.1016/j.neubiorev.2022.104777.

**NICHOLS**, Roger. *Ravel*. New Haven, EUA e Londres: Yale University Press, 2011. ISBN 978-0-300-10882-8.

**OVERY, K.** Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 999, p. 497–505, 2003.

**PALMER, Caroline; HUTCHINS, Sean.** What is musical prosody? *Psychology of Learning and Motivation*, v. 46, p. 245-278, 2006. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(06\)46007-2](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(06)46007-2).

**PANTEV, C., OOSTENVELD, R., ENGELIEN, A., ROSS, B., ROBERTS, L. E., & HOKE, M.** Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, v. 392, n. 6678, p. 811–814, 1998. DOI: 10.1038/33918.

**PATEL, A. D.** Rhythm in Language and Music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 999, n. 1, p. 140–143, 2003. doi:10.1196/annals.1284.015.

**PATEL, A. D.** Language, music, syntax and the brain. *Nature Neuroscience*, v. 6, p. 674-681, 2003.

**PATEL, A. D.** *Music, language and the brain*. New York: Oxford University Press, 2008.

**PATEL, A.** Why would musical training benefit the neural encoding of speech? The OPERA hypothesis. *Frontiers in Psychology*, v. 2, p. 142, 2011. DOI: 10.3389/fpsyg.2011.00142.

**PATEL, A. D.** The OPERA hypothesis: Assumptions and clarifications. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1252, n. 1, p. 124–128, 2012. DOI: 10.1111/j.1749-6632.2011.06426.x.

**PATEL, A. D.** Can nonlinguistic musical training change the way the brain processes speech? The expanded OPERA hypothesis. *Hearing Research*, v. 308, p. 98–108, 2014. DOI: 10.1016/j.heares.2013.08.011.

**PATEL, A. D.; DANIELE, J. R.** An empirical comparison of rhythm in language and music. *Cognition*, v. 87, n. 1, p. B35–B45, 2003. DOI: 10.1016/s0010-0277(02)00187-7.

**PATEL, A. D.; IVERSEN, J. R.** The linguistic benefits of musical abilities. *Trends in Cognitive Sciences*, v. 11, n. 9, p. 369–372, 2007. DOI: 10.1016/j.tics.2007.08.003.

**PATEL, A. D.; GIBSON, E.; RATNER, J.; BESSON, M.; HOLCOMB, P. J.** Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, v. 10, n. 6, p. 717–733, 1998.

**PATSCHEKE, H.; DEGÉ, F.; SCHWARZER, G.** The effects of training in music and phonological skills on phonological awareness in 4- to 6-year-old children of immigrant families. *Frontiers in Psychology*, v. 7, p. 1647, 2016. DOI: 10.3389/fpsyg.2016.01647.

**PEELLE, J. E.; DAVIS, M. H.** Neural oscillations carry speech rhythm through to comprehension. *Frontiers in Psychology*, v. 3, art. 320, 2012. DOI: 10.3389/fpsyg.2012.00320.

**PERETZ, I.** Brain specialization for music. New evidence from congenital amusia. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 930, p. 153-165, 2001.

**PERETZ, I.** Music, language and modularity framed in action. *Psychologica Belgica*, v. 49, n. 2-3, p. 157–175, 2009.

**PERETZ, I.** Modularity in music relative to speech: Framing the debate. In: REBUSCHAT, P.; ROHRMEIER, M.; HAWKINS, J.; CROSS, I. (orgs.). *Language and music as Cognitive Systems*. Oxford: Oxford University Press, 2012. p. 310-311.

**PERETZ, I.; COLTHEART, M.** Modularity of music processing. *Nature Neuroscience*, v. 6, n. 7, p. 688–691, 2003.

**PERETZ, I.; MORAIS, J.** Music and modularity. *Contemporary Music Review*, v. 4, n. 1, p. 279–293, 1989. DOI: 10.1080/07494468900640361.

**PERETZ, I.; VUVAN, D. T.** Prevalence of congenital amusia. *European Journal of Human Genetics*, v. 25, n. 5, p. 625-630, 2017. DOI: 10.1038/ejhg.2017.15.

**PERETZ, I.; ZATTORE, R.** Brain organization for music processing. *Annual Review of Psychology*, v. 56, p. 89–111, 2005.

**PETERSON, R. L.; PENNINGTON, B. F.** Developmental dyslexia. *The Lancet*, London, v. 379, n. 9830, p. 1997–2007, 26 maio 2012. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60198-6

**POEPPEL, D.; ASSANEO, M. F.** Speech rhythms and their neural foundations. *Nature Reviews Neuroscience*, p. 1–13, 2020. DOI: 10.1038/s41583-020-0304-4.

**POEPPEL, D.; EMMOREY, K.; HICKOK, G.; PYLKKÄNEN, L.** Towards a new neurobiology of language. *The Journal of Neuroscience*, v. 32, n. 41, p. 14125–14131, 10 out. 2012. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.3244-12.2012.

**POEPPEL, D.; IDSARDI, W. J.; VAN WASSENHOVE, V.** Speech perception at the interface of neurobiology and linguistics. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, v. 363(B), p. 1071–1086, 2008. DOI: 10.1098/rstb.2007.2160.

**PRINZ, J. J.** Is the mind really modular? In: STAINTON, R. (ed.). *Contemporary debates in cognitive science*. Oxford: Blackwell, 2006. p. 22–36.

**RAUSCHER, F.; SHAW, G.; KY, C.** Music and spatial task performance. *Nature*, v. 365, p. 611, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/365611a0>. Acesso em: [20/11/2024].

**RAUSCHER, F. H.; SHAW, G. L.; KY, K. N.** Listening to Mozart enhances spatial-temporal reasoning: towards a neurophysiological basis. *Neuroscience Letters*, v. 185, n. 1, p. 44-47, 1995. DOI: 10.1016/0304-3940(94)11221-4.

**RAUSCHER, F. H.; ZUPAN, M. A.** Classroom keyboard instruction improves kindergarten children's spatial-temporal performance: A field experiment. *Early Childhood Research Quarterly*, v. 15, p. 215-228, 2000.

**RAUTENBERG, I.** The effects of musical training on the decoding skills of German-speaking primary school children. *Journal of Research in Reading*, v. 38, n. 1, p. 1-17, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jrir.12010>.

**RAWBONE, T.** The Conceptual Structure of Music: Congruence, Modularity, and the Language of Musical Thought. *Current Research in Systematic Musicology*, p. 41-54, 2021.

**REBUSCHAT, P.** et al. (Eds.). *Language and Music as Cognitive Systems*. Oxford: Oxford University Press, 2011. Cap. 27. **PERETZ, I.** Music, language and modularity in action. DOI: 10.1093/acprof:oso/9780199553426.001.0001.

**REPP, B. H.** Compensation for subliminal timing perturbations in perceptual-motor synchronization. *Psychological Research*, v. 63, n. 2, p. 106-128, 2000. DOI: 10.1007/PL00008170. [PubMed: 10946585]. **REPP, B. H.** Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review*, v. 12, p. 969-992, 2005. DOI: 10.3758/BF03206433.

**RICHARDS, S.; GOSWAMI, U.** Auditory processing in specific language impairment (SLI): Relations with the perception of lexical and phrasal stress. *Journal of Speech Language and Hearing Research*, v. 58, n. 4, p. 1292, 2015.

**RIVKIN MJ, VAJAPEYAM S, HUTTON C, WEILER ML, HALL EK, WOLRAICH DA, et al.** A functional magnetic resonance imaging study of paced finger tapping in children. *Pediatric Neurology*, 28: 89-95, 2003.

**ROBBINS, P.** Modularity of Mind. In: ZALTA, E. N. (Ed.). *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (Winter 2017 Edition). Disponível em: <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/modularity-mind/>. Acesso em: 25 abr. 2024.

**RODEN, I.; KREUTZ, G.; BONGARD, S.** Effects of a school-based instrumental music program on verbal and visual memory in primary school children: A longitudinal study. *Frontiers in Neuroscience*, v. 3, art. 572, 2012.

**ROHRMEIER, M. A.; KOELSCH, S.** Predictive information processing in music cognition: A critical review. *International Journal of Psychophysiology*, v. 83, p. 164-175, 2012. DOI: 10.1016/j.ijpsycho.2011.12.010.

**ROSEN, S.** Auditory processing in dyslexia and specific language impairment: Is there a deficit? What is its nature? Does it explain anything? *Journal of Phonetics*, v. 31, p. 509-527, 2003.

**SAFFRAN, J. R.; LOMAN, M. M.; ROBERSON, R. R. W.** Infant memory for musical experiences. *Cognition*, v. 77, n. 1, p. B15-B23, 2000.

**SALA, Giovanni; GOBET, Fernand.** Does far transfer exist? Negative evidence from chess, music, and working memory training. *Current Directions in Psychological Science*, [S.l.], v. 26, n. 6, p. 515-520, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/0963721417712760>. Acesso em: 18 de maio de 2025.

**SALA**, Giovanni; **GOBET**, Fernand. Cognitive and academic benefits of music training with children: A multilevel meta-analysis. *Memory & Cognition*, [S.I.], v. 48, p. 1429–1441, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3758/s13421-020-01060-2>. Acesso em: 18 de maio de 2025.

**SALLAT, S.; JENTSCHKE, S.** Music perception influences language acquisition: Melodic and rhythmic-melodic perception in children with specific language impairment. *Neural Plasticity*, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/606470>. Acesso em: 23/08/2024

**SAMUELS, R.** Massively modular minds: Evolutionary psychology and cognitive architecture. In: CARRUTHERS, P.; CHAMBERLAIN, A. (ed.). *Evolution and the human mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. p. 13–46.

**SANSAVINI, Alessandra; FAVILLA, Maria Elena; GUASTI, Maria Teresa; MARINI, Andrea; MILLEPIEDI, Stefania; DI MARTINO, Maria Valeria; VECCHI, Simona; BATTAJON, Nadia; BERTOLO, Laura; CAPIRCI, Olga; CARRETTI, Barbara; COLATEI, Maria Paola; FRIONI, Cristina; MAROTTA, Luigi; MASSA, Sara; MICHELAZZO, Letizia; PECINI, Chiara; PIAZZALUNGA, Silvia; PIERETTI, Manuela; RINALDI, Pasquale; SALVADORINI, Renata; TERMINE, Cristiano; ZUCCARINI, Mariagrazia; D'AMICO, Simonetta; DE CAGNO, Anna Giulia; LEVORATO, Maria Chiara; ROSSETTO, Tiziana; LORUSSO, Maria Luisa.** Developmental language disorder: early predictors, age for the diagnosis, and diagnostic tools. A scoping review. *Brain Sciences*, v. 11, n. 5, p. 654, 2021. DOI: 10.3390/brainsci11050654

**SARES, A. G.; FOSTER, N. E. V.; ALLEN, K.; HYDE, K. L.** Pitch and time processing in speech and tones: The effects of musical training and attention. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, v. 61, n. 3, p. 496–509, 2018. Disponível em: [https://doi.org/10.1044/2017\\_JSLHR-S-17-0207](https://doi.org/10.1044/2017_JSLHR-S-17-0207).

**SCHELLENBERG, E. G.** Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, v. 15, p. 511–514, 2004.

**SCHELLENBERG, E. Glenn.** Examining the association between music lessons and intelligence. *British Journal of Psychology*, [S.I.], v. 102, n. 3, p. 283–302, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.2010.02000.x>. Acesso em: 18 de maio de 2025.

**SCHELLENBERG, E. Glenn.** *Music training and speech perception: a gene–environment interaction*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, [S.I.], v. 1337, n. 1, p. 170–177, 13 mar. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/nyas.12627>. Acesso em: 18 maio 2025

**SCHENKER, H.** *Der Freie Satz*. Viena: Universal Edition, 1935.

**SCHLAUG, G.; NORTON, A.; OVERY, K.; WINNER, E.** Effects of music training on brain and cognitive development. *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1060, p. 219–230, 2005.

**SCHÖN, D.** et al. Song as an aid for language acquisition. *Cognition*, v. 106, p. 975–983, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.03.005>. Acesso em: 25 abr. 2024.

**SCHÖN, Daniele; BOYER, Maud; MORENO, Sylvain; BESSON, Mireille; PERETZ, Isabelle; KOLINSKY, Régine.** Songs as an aid for language acquisition. *Cognition*, v. 106, n. 2, p. 975–983, 2008. DOI: [10.1016/j.cognition.2007.03.005](https://doi.org/10.1016/j.cognition.2007.03.005).

**SCHÖN, D.; FRANÇOIS, C.** Musical expertise and statistical learning of musical and linguistic structures. *Frontiers in Psychology*, v. 2, art. 167, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2011.00167>. Acesso em: 12 abr. 2024.

SIHVONEN, AJ.; RIPOLLÉS, P.; LEO, V.; RODRÍGUEZ-FORNELLS, A.; SOINILA, S.; SÄRKÄMÖ, T. Neural basis of acquired amusia and its recovery after stroke. *Journal of Neuroscience*, v. 36, n. 34, p. 8872–8881, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.0709-16.2016>. Acesso em: 25 abr. 2024.

SIHVONEN, AJ.; FERGUSON, MA.; CHEN, V.; SOINILA, S.; SÄRKÄMÖ, T.; JOUTSA, J. *Focal brain lesions causing acquired amusia map to a common brain network*. *Journal of Neuroscience*, v. 44, n. 15, 10 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.1922-23.2024>. Acesso em: 18 abr. 2025

SILVEIRA, Marisa S. *O Déficit Especificamente Linguístico (DEL) e uma avaliação preliminar de sua manifestação em crianças falantes do português*. 2002. Dissertação (Mestrado em Linguística) — Departamento de Letras, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

SLATER, JESSICA; SKOE, ERIKA; STRAIT, DANA L.; O'CONNELL, SAMANTHA; THOMPSON, ELAINE; KRAUS, NINA. Music training improves speech-in-noise perception: longitudinal evidence from a community-based music program. *Behavioural Brain Research*, v. 291, p. 244-252, 15 set. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2015.05.026>

SLEVC, L. R.; MIYAKE, A. Individual differences in second-language proficiency: Does musical ability matter? *Psychological Science*, v. 17, p. 675–681, 2006.

SLEVC, L. R.; ROSENBERG, J.; PATEL, A. D. Language, music, and modularity: Evidence for shared processing of linguistic and musical syntax. In: *Proceedings of the 10th International Conference on Music Perception and Cognition (ICMPC10)*, Sapporo, Japan, 2008. ISBN: 978-4-9904208-0-2.

SOWIŃSKI, J.; DALLA BELLA, S. Poor synchronization to the beat may result from deficient auditory-motor mapping. *Neuropsychologia*, v. 51, n. 10, p. 1952–1963, 2013. DOI: [10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.027](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.06.027).

SPIVEY, Michael J. *The Continuity of Mind*. New York: Oxford University Press, 2007.

STADLER, S. Vocal pitch matching ability in children between four and nine years of age. *European Journal of High Ability*, v. 1, p. 33–41, 1990.

STEWART, L.; VON KRIEGSTEIN, K.; WARREN, J. D.; GRIFFITHS, T. D. Music and the brain: disorders of musical listening. *Brain*, v. 129, p. 2533–2553, 2006.

SULKES, Stephen Brian; PEKARSKY, Alicia R. *Dyslexia*. MSD Manual Professional Edition. 2025. Disponível em: <https://www.msmanuals.com/professional/pediatrics/learning-and-developmental-disorders/dyslexia>. Acesso em: 30 set. 2025.

SURÁNYI, Z.; CSÉPE, V.; RICHARDSON, U.; THOMSON, J. M.; HONBOLYГО, Ferenc; GOSWAMI, U. Sensitivity to rhythmic parameters in dyslexic children: A comparison of Hungarian and English. *Reading and Writing*, v. 22, n. 1, p. 41–56, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11145-007-9102-x>.

SWAMINATHAN, S.; SCHELLENBERG, E. G. Musical ability, music training, and language ability in childhood. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, v. 46, n. 12, p. 2340–2348, 2020. DOI: [10.1037/xlm0000798](https://doi.org/10.1037/xlm0000798).

TALLAL, P.; PIERCY, M. Defects of non-verbal auditory perception in children with developmental aphasia. *Nature*, v. 241, p. 468–469, 16 fev. 1973.

**THOMSON, J. M.; GOSWAMI, U.** Rhythmic processing in children with developmental dyslexia: auditory and motor rhythms link to reading and spelling. *Journal of Physiology*, v. 102, p. 334–348, 2008. DOI: 10.1016/j.jphysparis.2008.03.007.

**THOMPSON, W. F.; SCHELLENBERG, E. G.; HUSAIN, G.** Decoding speech prosody: do music lessons help? *Emotion*, v. 4, p. 46–64, 2004.

**TIERNEY, A.; KRAUS, N.** Auditory-motor entrainment and phonological skills: Precise auditory timing hypothesis (PATH). *Frontiers in Human Neuroscience*, v. 8, art. 949, 2014. DOI: 10.3389/fnhum.2014.00949.

**TIERNEY, A. T.; KRIZMAN, J.; KRAUS, N.** Music training alters the course of adolescent auditory development. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*, v. 112, n. 32, p. 10062–10067, 2015.

**VALENZUELA, J.; HILFERTY, J.** Music, modularity, and syntax. *International Journal of English Studies*, v. 7, n. 1, p. 101–115, 2009. Disponível em: <https://revistas.um.es/ijes/article/view/48911>. Acesso em: 16 fev. 2025.

**VAUGHN, K.** Music and mathematics: modest support for the oft claimed relationship. *Journal of Aesthetic Education*, v. 34, p. 149–166, 2000.

**VICENTE, Vanessa Santos de Jesus.** *Estruturas de alto custo no rastreio do Transtorno do Desenvolvimento da Linguagem e na prática clínica: uma abordagem psicolinguística*. 2024. Dissertação (Mestrado em Estudos da Linguagem) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, Rio de Janeiro, 2024.

**VITTURI, B. K.; SANVITO, W. L.** Maurice Ravel's dementia: the silence of a genius. *Arquivos de Neuro-psiquiatria*, v. 77, n. 2, p. 136–138, 2019. DOI: 10.1590/0004-282X20180134.

**VUOLO, J.; GOFFMAN, L.; ZELAZNIK, H. N.** Deficits in coordinative bimanual timing precision in children with Specific Language Impairment. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, v. 60, n. 2, p. 393–405, 2017. DOI: [https://doi.org/10.1044/2016\\_jslhr-l-15-0100](https://doi.org/10.1044/2016_jslhr-l-15-0100).

**WABER, D. P., WEILER, M. D., BELLINGER, D. C., MARCUS, D. J., FORBES, P. W., WYPIJ, D., & WOLFF, P. H.** Diminished motor timing control in children referred for diagnosis of learning problems. *Developmental Neuropsychology*, 17: 181–197, 2000.

**WARREN, R. M.** Perceptual restoration of missing speech sounds. *Science*, Washington, D.C., v. 167, p. 392–393, 1970.

**WEINERT, S.** Deficits in acquiring language structure: the importance of using prosodic cues. *Applied Cognitive Psychology*, v. 6, p. 545–571, 1992. DOI: 10.1002/acp.2350060607.

**WHEAT, K. L.** The role of Broca's area for phonology during visual word recognition: investigations using magnetoencephalography and transcranial magnetic stimulation. 2012.

**WILSON, R. A.** The drink you're having when you're not having a drink. *Mind & Language*, Oxford, v. 23, n. 3, p. 273–283, 2008.

**WOODWARD, J. F.; COWIE, F.** The mind is not (just) a system of modules shaped (just) by natural selection. In: HITCHCOCK, C. (ed.). *Contemporary debates in philosophy of science*. Malden, MA: Blackwell, 2004. p. 312–334.

**WOLFF, PH.** Timing precision and rhythm in developmental dyslexia. *Reading and Writing: An Interdisciplinary Journal*, 15: 179–206, 2002.

**WOLFF, PH, MICHEL GF, OVRUT M, and DRAKE C.** Rating and timing precision of motor coordination in developmental dyslexia. *Developmental Psychology*, 26: 349–359, 1990

**WOODRUFF CARR, K.; WHITE-SCHOCH, T.; TIERNEY, A. T.; STRAIT, D. L.; KRAUS, N.** Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 111, n. 40, p. 14559–14564, 2014. DOI: 10.1073/pnas.1406219111.

**WONG, P. C. M.; SKOE, E.; RUSSON, N. M.; DEES, T.; KRAUS, N.** Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience*, v. 10, p. 420–422, 2007.

**ZATORRE, R.; MCGILL, J.** Music, the food of neuroscience? *Nature*, v. 434, n. 7031, p. 312-315, 17 mar. 2005. DOI: 10.1038/434312a.

**ZELAZNIK, H. N.; GOFFMAN, L.** Generalized motor abilities and timing language impairment. *Hearing Research*, v. 53, n. 2, p. 267–284, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heares.2007.03.006>.

**ZUK, J.; OZERNOV-PALCHIK, O.; KIM, H.; LAKSHMINARAYANAN, K.; GABRIELI, J. D. E.; TALLAL, P.; GAAB, N.** Enhanced syllable discrimination thresholds in musicians. *PLOS ONE*, v. 8, n. 12, p. 1–8, 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0080546.

## Glossário – Conceitos Musicais e Fonéticos Acústicos

Esta subdivisão tem como objetivo apresentar os conceitos básicos da Teoria Musical e conceitos básicos da Fonética Acústica abordados na dissertação. A parte teórica apresentada no glossário tem como bibliografia o livro do autor Bohumil Med (1996).

**Alongamento Vocálico** – Prolongamento da duração de uma vogal dentro de uma palavra ou sílaba.

**Altura** – Determinada pela frequência das vibrações, quanto mais rápido, mais agudo é o som

**Amplitude** – É a magnitude máxima da variação de pressão (ou deslocamento) de uma onda sonora em relação à sua posição de equilíbrio.

**Andamento** – “*Allegro ma non troppo!*” É a indicação da velocidade da execução musical

**Armadura** – É o conjunto de sinais de sustenido ou bemol que aparece no começo da pauta musical para mostrar qual a tonalidade da música

**Ascendente** – O movimento ascendente consiste na sucessão de notas em direção às alturas mais agudas, partindo das mais graves.

**Bemol (b)** – Abaixa a nota natural em um semitom

**Bequadro (¶)** – Anula o efeito do Sustenido ou Bemol

**Círculo de Quintas** – É uma representação gráfica das 12 tonalidades da música ocidental, organizadas em quintas justas

**Clave** – É um sinal colocado no início da pauta da partitura para indicar a posição das notas. Existem três, Clave de Dó, Clave de Fá e Clave de Sol

**Colcheia** – Nome da duração da nota, representa 1/8 unidade de tempo

**Compasso** – Divisão de um trecho musical em séries regulares de tempos

**Contornos de Altura** – Variações de altura tonal da voz ao longo de uma sílaba, palavra ou frase

**Descendente** – O movimento descendente caracteriza-se pela redução gradual das alturas sonoras, deslocando-se das notas mais agudas para as mais graves.

**Dominante** – Grau V da escala, é o segundo mais importante depois da Tônica

**Duração** – Extensão de um som, determinado pela figura da nota e pelo andamento

**Escala** – Uma sequência ordenada de notas dispostas em alturas crescentes ou decrescentes, seguindo uma relação específica de intervalos.

**Escala Maior** – Série de notas que tem um semitom entre os graus III – IV e VII – I e tom entre os demais graus. Produz um som mais animado

**Escala Menor** – Série de notas que tem um semitom entre os graus II e III. Produz um som mais melancólico e triste.

**Escala Temperada** – Divide a oitava em doze semitons (Dó, Dó sustenido, Ré, Ré sustenido, ...)

**F0 (frequência fundamental)** – É a menor frequência periódica do sinal sonoro, correspondendo, no caso da fala, à taxa de vibração das pregas vocais durante a fonação.

**Frequência** – É a quantidade de ciclos ou oscilações completas de uma onda que ocorrem em um segundo, medida em *hertz* (Hz)

**Função Harmônica** – Conceito da teoria musical que descreve o papel ou a “função” que um acorde exerce dentro de uma tonalidade

**Graus** – Nome dado às notas que formam a escala numeradas por algarismos romanos. A primeira nota da escala é o grau I

**Harmonia** – Conjunto de sons dispostos em ordem simultânea

**Intensidade** – amplitude das vibrações, determinada pelo volume e pelos sinais de dinâmica

**Intervalo** – É a diferença de altura entre dois sons

**Melodia** – Conjunto de sons (notas musicais) dispostos em ordem sucessiva

**Metrônomo** – Aparelho usado para determinado o andamento, marcando regularmente a duração dos tempos

**Mínima** – Nome da duração da nota, representa 1/2 unidade de tempo

**Notas Prolongadas** – São notas que tem uma duração maior do que o valor padrão esperado

**Notas e Cifras** – Dó (C), Ré (D), Mi (E), Fá (F), Sol (G), Lá (A), Si (B)

**Pausa** – Um símbolo que indica silêncio por um determinado tempo ou duração

**Ponto de Aumento** – Um sinal colocado a direita de uma nota ou pausa para aumentar metade da sua duração

**Quiáltera** – Agrupamento de notas com maior ou menor valor do que normalmente representam

**Quinta** – O intervalo de quinta justa é formado por três tons e um semitom

**Quarta** – O intervalo de quarta justa é formado por dois tons e um semitom

**Ritmo** – Ordem e proporção do valor dos sons que constituem a melodia e a harmonia

**Semibreve** – Nome da duração da nota, representa 1 unidade de tempo

**Semínima** – Nome da duração da nota, representa 1/4 unidade de tempo

**Semitom** – É o menor intervalo entre dois sons no sistema musical ocidental, é a metade de um tom (Mi – Fá)

**Série Harmônica** – Conjunto de sons que acompanham um som fundamental

**Sistema Temperado** – Uso de um sistema cromático para projetar harmonias

**Som** – Sensação produzida no ouvido por meio das vibrações de corpos elásticos.

**Subdominante** – Grau IV da escala

**Sustenido (#)** – Eleva a altura da nota natural um semitom

**Timbre** – É a “voz” do instrumento que deve executar a música

**Tom** – Um intervalo musical que é a soma de dois semitons (Dó – Ré)

**Tonalidade** – É o sistema que organiza as notas e acordes em torno de uma nota principal, tônica, criando um centro tonal

**Tônica** – Primeiro grau, dá o nome à escala e ao tom

**Tons de Shepard** – são um fenômeno acústico e musical que cria a ilusão auditiva de um som que parece subir ou descer infinitamente em altura, mas na realidade não aumenta nem diminui.

## ANEXOS

### Anexo A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa



Pontifícia  
Universidade  
Católica do  
Rio de Janeiro

VRAC  
Vice-reitoria Acadêmica  
Ensino e Pesquisa

**CÂMARA DE ÉTICA EM PESQUISA DA PUC-Rio**  
Parecer da Comissão da Câmara de Ética em Pesquisa da PUC-Rio 51-2025 –  
Protocolo 45-2025 Proposta: SGOC 547243  
A Câmara de Ética em Pesquisa da PUC-Rio foi constituída como uma Câmara específica  
do Conselho de Ensino e Pesquisa conforme decisão deste órgão colegiado com atribuição  
de avaliar projetos de pesquisa do ponto de vista de suas implicações éticas.

## Anexo B – Modelo Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



**Pontifícia Universidade Católica  
do Rio de Janeiro**

Esta pesquisa atende a todas as especificações da Resolução 466, de 12 de dezembro de 2012, do Conselho Nacional de Saúde (CNS) que aprova as diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisas envolvendo seres humanos, assim como da Resolução 510, de 07 de abril de 2016, deste Conselho, que estabelece normas aplicáveis à pesquisa em Ciências Humanas e Sociais.

**Consentimento:**

Eu, \_\_\_\_\_, de maneira voluntária, livre e esclarecida, concordo em participar da pesquisa acima identificada. Estou ciente dos objetivos do estudo, dos procedimentos metodológicos, das garantias de sigilo e confidencialidade, dos riscos e suas formas de contorno, da possibilidade de esclarecimentos permanentes sobre eles. Fui informado/a de que se trata de uma pesquisa vinculada ao Programa de Pós-graduação da PUC-Rio. Está claro que minha participação é isenta de despesas e que minha imagem, meu nome e voz não serão publicados sem minha prévia autorização por escrito. Este Termo foi impresso e/ou enviado em duas vias, das quais uma me foi concedida e ficará em minha posse e a outra será arquivada pelo/a pesquisador/a responsável. O/A pesquisador/a deve garantir que o participante da pesquisa receberá uma via digital ou impressa do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, assinada e rubricada pelo pesquisador.

Data: \_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Assinatura do Participante

\_\_\_\_\_  
Assinatura do/a Pesquisador/a

**Anexo C – Autorização Clínica Verbalize****Pontifícia Universidade Católica  
do Rio de Janeiro****TERMO DE ANUÊNCIA**

A clínica Verbalize Fonoaudiologia está de acordo com a execução do projeto “Habilidades Musicais e Linguísticas: Um Possível Fator de Alerta no Diagnóstico do TDL”, coordenado pelas pesquisadoras Natali Fontes Cardoso Bazan e Letícia Sicuro Corrêa, da PUC-Rio, e assume o compromisso de apoiar o desenvolvimento da referida pesquisa nesta Instituição. Esta instituição se compromete a assegurar a segurança e bem estar dos participantes em atendimento a Resolução 466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares.

Assinatura direção

Assinatura Pesquisadora

Rio de Janeiro, julho de 2025

**Anexo D – Autorização Escola Aldeia Curumim**

**Pontifícia Universidade Católica  
do Rio de Janeiro**

**TERMO DE ANUÊNCIA**

A escola Aldeia Curumim está de acordo com a execução do projeto “Habilidades Musicais e Linguísticas: Um Possível Fator de Alerta no Diagnóstico do TDL”, coordenado pelas pesquisadoras Natali Fontes Cardoso Bazan e Letícia Sicuro Corrêa, da PUC-Rio, e assume o compromisso de apoiar o desenvolvimento da referida pesquisa nesta Instituição. Esta instituição se compromete a assegurar a segurança e bem estar dos participantes em atendimento a Resolução 466 de 2012 do Conselho Nacional de Saúde e suas complementares.

Assinatura direção

Assinatura Pesquisadora

Rio de Janeiro, julho de 2025

**Anexo E** – Link para os áudios do experimento 1

[https://drive.google.com/drive/folders/18pAHiqJeqgBEjypmTT6\\_BXqX\\_au98Bxb?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/18pAHiqJeqgBEjypmTT6_BXqX_au98Bxb?usp=sharing)

**Anexo F** – Link resultados gráficos do experimento 2, grupo TDL e Típico

<https://drive.google.com/drive/folders/1DRutU6toRnvh2rAcacI289egUJEVRFVh?usp=sharing>