



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS DA SAÚDE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DA SAÚDE  
NEUROCIÊNCIA COMPORTAMENTAL

EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES

Benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS associada ao treinamento musical de idosos: estudo randomizado, controlado, duplo cego

Tese de Doutorado apresentada ao programa de Pós-Graduação em Ciência da Saúde, área de concentração Neurociências, da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Ciências da Saúde.

Orientador (a): Maria Clotilde Henriques Tavares

Brasília, 2022

EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES

Benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS associada  
ao treinamento musical de idosos: estudo randomizado,  
controlado, duplo cego

Tese de Doutorado apresentada ao programa de  
Pós-Graduação em Ciência da Saúde, área de  
concentração Neurociências, da Universidade de  
Brasília, como requisito parcial para obtenção do  
título de Doutor em Ciências da Saúde.

Aprovado em 01 de agosto de 2022

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Maria Clotilde Henriques Tavares (presidente)  
Universidade de Brasília – UnB

Prof. Dr. Joaquim Pereira Brasil Neto (2º membro)  
Centro Universitário Unieuro - Brasília - DF

Profa. Dra. Tereza Raquel de Melo Alcântara Silva (3º membro)  
Universidade Federal de Goiás – UFG

Prof. Dra. Thenille Braun Janzen (4º membro)  
Universidade Federal do ABC – FABC

Prof. Dr. Edgar Merchan Hamman (suplente)  
Universidade de Brasília – UnB

## AGRADECIMENTOS

Minha gratidão a Deus, pelo dom da vida, por me permitir trilhar o caminho do conhecimento e por me fortalecer a cada passo da trajetória.

À minha amada família, pelo incentivo constante, em especial aos meus pais, que me educaram no caminho da perseverança e ao meu querido esposo David Rodrigues, pelo carinho e encorajamento diário, pela compreensão e paciência em cada momento.

À querida professora Maria Clotilde Henriques Tavares, pela orientação e pelos inesquecíveis ensinamentos que me permitiram vislumbrar a fascinante fusão entre a fisiologia humana, a neurociência e a música.

À querida amiga e pesquisadora Jéssica Mendes de Souza, pelo apoio prestado em todos os momentos e pela prontidão em auxiliar, desde a submissão do projeto ao Conselho de Ética até a análise dos dados.

À querida amiga e pesquisadora Fayda da Cruz Protasio, pela presteza em auxiliar, principalmente relação aos protocolos de tDCS.

Ao pesquisador Dr. Pedro Brandão, pela prontidão no empréstimo e na montagem dos testes CANTAB.

Ao Professor Dr. Gotfried Schlaug, pela cessão do H-BAT.

Ao professor Rei Konno, por ceder e auxiliar na instalação e no procedimento do H-BAT, essencial para a concretização desta pesquisa.

Ao professor Shinya Fujii e seus alunos Leonard Choo e Takahide Etani, da Universidade de Keio (Japão) pela prontidão em auxiliar com os dados H-BAT.

À querida aluna de piano Solange Caçador (*in memoriam*), que infelizmente não teve oportunidade de ver este estudo concluído, mas foi fonte de inspiração e incentivo para que eu trilhasse os caminhos da neurociência.

Às alunas Bruna Midori Ferrari e Letícia Viana Couto pela dedicação, prestatividade e extrema responsabilidade demonstradas durante as coletas de dados.

À direção da Escola de Música de Brasília, pelo apoio e prontidão prestados em todos os momentos necessários.

Aos professores Dr. Joaquim Pereira Brasil Neto, Dra.Tereza Raquel Alcântara Silva, Dra.Thenille Braun Janzen, Dr. Fayez Bahmad Junior, Dr. Edgar

Merchan Hamman pelas valiosas contribuições no exame de qualificação e por aceitarem participar da banca de defesa.

A todos os meus incríveis alunos idosos de piano e teclado, fonte do meu desejo de investigação, que fizeram da maturidade um período ideal para o desenvolvimento de habilidades musicais e encontraram na música uma fonte de prazer, saúde e bem-estar.

A todos os queridos idosos que se dispuseram a participar desta pesquisa e que representam o real motivo da realização deste trabalho.

*Dedico este trabalho aos meus pais Maria Luiza Zorzatto Dias e Arlindo Dias (in  
memoriam)*

*Nossos sistemas auditivos, nossos sistemas nervosos, são ajustados para a música [...] A música imprime-se no cérebro mais profundamente do que qualquer outra experiência humana (Oliver Sacks).*

## RESUMO

A música pode ser considerada um dos estímulos mais complexos e de múltiplos domínios para o cérebro. Dentre os elementos que constituem a música, o ritmo é uma estrutura central e indispensável, pois ordena o movimento de padrões musicais no tempo e proporciona sustentação às demais estruturas musicais. Estudos que utilizam técnicas de neuromodulação como a estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) têm demonstrado modificações das funções perceptivas, cognitivas e comportamentais. Estudos com músicos indicam que o desempenho musical pode ser aprimorado com a aplicação da tDCS sobre regiões como as áreas motoras e cerebelo. Infere-se ainda que a tDCS possa auxiliar na diminuição dos efeitos da idade sobre a cognição e a atividade cerebral. Considerando tais aspectos, o objetivo do presente estudo foi investigar os benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS para idosos com e sem treinamento musical. Participaram do estudo 48 idosos com idades entre 60 e 86 anos, divididos em dois grupos, sendo 25 com treinamento musical e 23 sem treinamento musical. Dos participantes com treinamento musical, 10 (40%) foram submetidos à estimulação por tDCS anódica no cerebelo e 15 (60%) na área motora (M1). Entre os participantes sem treinamento musical, 10 (43,48%) receberam estimulação na área cerebelar e 13 (56,52%) na área motora. O instrumento utilizado para identificar as nuances rítmicas dos sujeitos da pesquisa foi o teste H-BAT (*Harward Beat Assessment Test*). Para fins da verificação das funções executivas foram utilizados os instrumentos: MoCA, teste de STROOP, testes da bateria CANTAB - *Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery*: MOT (Motor Screening Task) SWN (Spatial Working Memory), PAL (Paired Associates Learning). Para rastreamento da capacidade/desempenho motor foi utilizado o SEQTAP (*Sequential Finger Tapping Task*). Os testes STROOP, SEQTAP e H-BAT foram realizados em duas sessões, separadas por um período de uma semana. Dentro de cada sessão foram realizados um teste pré e pós-tDCS de todos os testes, com a exceção dos testes MoCA, MOT, SWM e PAL. Os testes foram realizados antes e após a estimulação por tDCS, aplicada por 20 minutos no cerebelo e na área motora esquerda (M1). Os resultados do estudo revelaram, em relação às funções executivas, um leve comprometimento cognitivo na maior parte da amostra. Não

foram observados benefícios da tDCS em relação aos testes cognitivos. As diferenças significativas se concentraram no grupo de indivíduos sem treinamento musical, com estimulação cerebelar. A estimulação não provocou efeitos ou provocou efeitos negativos, provocando piora no desempenho dos participantes.

No tocante à sincronização sensório-motora, os resultados sugerem que a tDCS produziu efeito significativo nos índices de consistência e acurácia da sincronização verificados a partir do *Music Tapping Test* (MTT), tanto para indivíduos com treinamento quanto para participantes sem treinamento musical. Os possíveis efeitos foram verificados principalmente na área motora (M1). Com respeito à percepção rítmico-musical, foram constatados prováveis efeitos da estimulação por tDCS nas duas áreas estimuladas, sendo que os efeitos decorrentes da estimulação cerebelar se concentraram principalmente entre os participantes sem treinamento musical. Em comparação com o cerebelo, a área motora apresentou resultados mais satisfatórios advindos da neuromodulação. Finalmente, no que concerne à aprendizagem de tarefa de digitação motora, os achados relacionados ao teste SEQTAP, os prováveis efeitos significativos foram verificados principalmente em indivíduos com treinamento musical, com maior efeito da estimulação na área motora (M1). Futuras pesquisas com perfis longitudinais poderão representar um formato importante para incrementar dados referentes aos efeitos da estimulação por tDCS nas áreas motora (M1) e cerebelo sobre a percepção e produção rítmico-musical de indivíduos idosos.

**Palavras-chave:** ritmo musical, tDCS, função executiva, sincronização sensório-motora em idosos.

## ABSTRACT

Music can be considered one of the most complex and multi-domain stimuli for the brain. Among the elements that constitute music, rhythm is a central and indispensable structure, as it orders the movement of musical patterns in time and provides support to other musical structures. Studies using neuromodulation techniques such as transcranial direct current stimulation (tDCS) have demonstrated changes in perceptual, cognitive and behavioral functions. Studies with musicians indicate that musical performance can be improved with the application of tDCS on regions such as the motor area and cerebellum. It is also inferred that tDCS may help to reduce the effects of age on cognition and brain activity. Considering these aspects, the objective of the present study was to investigate the cognitive and sensorimotor benefits of tDCS for elderly people with and without music training. The study included 48 elderly people aged between 60 and 86 years, divided into two groups, 25 with musical training and 23 without musical training. Of the participants with musical training, 10 (40%) underwent stimulation by anodic tDCS in the cerebellum and 15 (60%) in the motor area (M1). Among the participants without musical training, 10 (43.48%) received stimulation in the cerebellar area and 13 (56.52%) in the motor area. The instrument used to identify the rhythmic nuances of the research subjects was the H-BAT test (Harvard Beat Assessment Test). The following instruments were used to verify executive functions: MoCA, STROOP test, CANTAB battery tests - Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery: MOT (Motor Screening Task) SWN (Spatial Working Memory), PAL (Paired Associates Learning). The SEQTAP (Sequential Finger Tapping Task) was used to track motor capacity/performance. The STROOP, SEQTAP and H-BAT tests were performed in two sessions, separated by a period of one week. Within each session, a pre and post-tDCS test of all tests was performed, with the exception of the MoCA, MOT, SWM and PAL tests. The tests were performed before and after stimulation by tDCS, applied for 20 minutes in the cerebellum and in the left motor area (M1). The results of the study revealed, in relation to executive functions, a mild cognitive impairment in most of the sample. No benefits of tDCS were observed in relation to cognitive tests. The significant differences were concentrated in the group of individuals without musical training, with cerebellar stimulation. The stimulation did

not cause effects or caused negative effects, causing a worsening in the performance of the participants.

Regarding sensorimotor synchronization, the results suggest that tDCS produced a significant effect on the consistency and accuracy of synchronization rates verified from the Music Tapping Test (MTT), both for individuals with training and for participants without musical training. The possible effects were verified mainly in the motor area (M1). Regarding the rhythmic-musical perception, probable effects of stimulation by tDCS were observed in the two stimulated areas, and the effects resulting from cerebellar stimulation were mainly concentrated among participants without musical training. In comparison with the cerebellum, the motor area showed more satisfactory results from neuromodulation. Finally, regarding the learning of the motor typing task, the findings related to the SEQTAP test, the probable significant effects were verified mainly in individuals with musical training, with greater effect of stimulation in the motor area (M1). Future research with longitudinal profiles may represent an important format to increase data regarding the effects of stimulation by tDCS in the motor areas (M1) and cerebellum on the perception and rhythmic-musical production of elderly individuals.

**Keywords:** musical rhythm, tDCS, executive function, sensorimotor synchronization in the elderly

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação de ritmo, beat e métrica.....	54
Figura 2. Metrônomo.....	56
Figura 3. Áreas cerebrais envolvidas no processamento do tempo e do ritmo.....	76
Figura 4. Etapas da Randomização da presente pesquisa.....	94
Figura 5. Instrumentos aplicados no presente estudo (2022).....	95
Figura 6. Sequência ilustrativa da terceira etapa do teste de STROOP.....	98
Figura 7. Realização do Teste de STROOP (cores e palavras).....	98
Figura 8. Motor Screening Task (MOT) ou Tarefa de Triagem Motora.....	100
Figura 9. Spatial Working Memory (SWM) ou Memória de Trabalho Espacial.....	101
Figura 10. Paired Associates Learning (PAL), ou Aprendizado Pareado Associado.....	104
Figura 11. Aplicação do teste H-BAT – MTT.....	107
Figura 12. Figuras rítmicas utilizadas no Teste BIT.....	108
Figura 13. Padrão rítmico do teste BFIT (produção e percepção).....	109
Figura 14. Tela do iPad para a tarefa de percepção dos testes BIT e BFIT.....	110
Figura 15. Teste de percepção dos testes BFIT e BIT.....	110

Figura 16. Dedos utilizados na digitação do teste SEQTAP.....	<b>111</b>
Figura 17. Sessões do teste SEQTAP nas duas semanas.....	<b>112</b>
Figura 18. Prática do teste SEQTAP.....	<b>112</b>
Figura 19. Protocolo experimental realizados nas duas semanas. O participante que fez a tDCs real na semana 1, realizou tDCS “sham” na semana 2 e vice-versa.....	<b>115</b>
Figura 20. Aparelho de tDCS com esponjas (ânodo e cátodo).....	<b>115</b>
Figura 21. Aplicação de tCS na área motora.....	<b>116</b>
Figura 22. Média de desempenho dos participantes no teste de STROOP.....	<b>126</b>
Figura 23. Média do tempo de resposta na Tarefa de Triagem Motora.....	<b>129</b>
Figura 24. Média de desempenho no Teste de Aprendizado Pareado Associado (PAL).....	<b>131</b>
Figura 25. Média de desempenho no PALMET.....	<b>132</b>
Figura 26. Média de desempenho no Teste de Memória de Trabalho Espacial.....	<b>134</b>
Figura 27. Média de desempenho no SWMBE8 e SWMS.....	<b>135</b>
Figura 28. Média do $SI_{LRV}$ , em graus, no Teste de Escutas Musicais (MTT).....	<b>137</b>
Figura 29. Média geral do $SI_{LRV}$ e $SI_{ENT}$ , para os participantes sem treinamento musical, no MTT.....	<b>138</b>
Figura 30. Média do $SI_{LRV}$ e $SI_{ENT}$ no Teste de Escutas Musicais (MTT).....	<b>139</b>

Figura 31. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes BIT per e BFIT per.....	<b>142</b>
Figura 32. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes BIT per e BFIT per para os participantes sem treinamento musical.....	<b>143</b>
Figura 33. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes BIT e BFIT per.....	<b>145</b>
Figura 34. Média do tempo de reação (TR), em milissegundos, no teste SEQTAP.....	<b>150</b>
Figura 35. Média de desempenho no teste SEQTAP.....	<b>150</b>
Figura 36. Média do tempo de reação (TR), em milissegundos, no teste SEQTAP.....	<b>151</b>
Figura 37. Média do desempenho no teste SEQTAP.....	<b>152</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características demográficas da amostra.....	<b>92</b>
Tabela 2. Características musicais da amostra (n=25).....	<b>123</b>
Tabela 3. Resultados da Avaliação de Dominância Manual mediante o Inventário de Edimburgo.....	<b>124</b>
Tabela 4. Escores do teste MoCA. Comparação dos domínios cognitivos da Avaliação Cognitiva Montreal (MoCA) entre músicos e não-músicos.....	<b>125</b>
Tabela 5. Desempenho dos participantes com treinamento musical no <i>Harvard Beat Assessment Test</i> (H-BAT) (n=25).....	<b>147</b>
Tabela 6. Desempenho dos participantes sem treinamento musical no <i>Harvard Beat Assessment Test</i> (H-BAT) (n=23).....	<b>148</b>

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1. Principais medidas de desfecho – MOT.....	<b>100</b>
Quadro 2. Principais medidas de desfecho – SWM.....	<b>102</b>
Quadro 3. Principais medidas de desfecho – PAL.....	<b>104</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>ASAP</b>	Simulação de Ação Para Previsão Auditiva
<b>AVE</b>	Acidente Vascular Encefálico
<b>BA</b>	Área de Brodmann
<b>BFIT</b>	Beat Finding and Interval Test
<b>BIT</b>	Beat interval Test
<b>BG</b>	Gânglios da Base
<b>BPM</b>	Batidas por minuto
<b>CANTAB</b>	Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery
<b>CCL</b>	Comprometimento Cognitivo Leve
<b>CPFDLE</b>	Córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo
<b>DLPFC</b>	Córtex Pré-frontal Dorsolateral
<b>EEG</b>	Eletroencefalograma
<b>ETCC</b>	Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua
<b>FE</b>	Funções Executivas
<b>fMRI</b>	Ressonância Magnética Funcional – Magnetic Resonance Imaging
<b>GSM</b>	Giro Supramarginal
<b>HG</b>	Giro de Heschl
<b>H-BAT</b>	Harvard Beat Assessment Test
<b>IPC</b>	Córtex Parietal Inferior
<b>IPL</b>	Lóbulo Parietal Inferior
<b>ITG</b>	Giro Temporal Inferior
<b>M1</b>	Córtex Motor Primário
<b>mA</b>	Miliampere
<b>MBEA</b>	Montreal Battery of Evaluation of Amusia
<b>MEG</b>	Magneto-encefalografia
<b>MEPs</b>	Potenciais evocados motores
<b>MFG</b>	Giro Frontal Medio
<b>MOCA</b>	Montreal Cognitive Assessment
<b>MOT</b>	Motor Screening Task
<b>MTT</b>	Music Tapping Test
<b>PAL</b>	Paired Associates Learning

**PC** Paralisia Cerebral  
**PMC** Córtex Pré-Motor  
**PPC** Córtex Parietal Posterior  
**Pré-SMA** Área Pré-Motora Suplementar  
**ROper** Opérculo Rolândico  
**SEQTAP** Sequential Finger Tapping Task  
**SMA** Áreamotora Suplementar  
**SMS** Sincronização Sensório-motora  
**STG** Giro Temporal Superior  
**SWM** Spatial Working Memory  
**TDAH** Transtorno do Déficit de Atenção e Hiperatividade  
**tDCS** Transcranial Direct Current Stimulation  
**TEPT** Transtorno do Estresse Pós-Traumático  
**TOC** Transtorno Obsessivo Compulsivo  
**TR** Tempo de Reação

## APRESENTAÇÃO

O presente estudo teve como ponto de partida a minha admiração e respeito por pessoas que se aventuram em atividades de aprendizagem musical em idade considerada tardia. Nesse aspecto, discorrerei sobre uma inquietação que me afligia desde o início de minha carreira profissional como educadora musical. Tendo concluído o nível técnico em piano e iniciado minha experiência pedagógica no ensino do instrumento, em 1993 tive a oportunidade de iniciar, de forma particular e individual, o ensino de piano a pessoas idosas.

Lembro-me com saudades, do meu primeiro aluno de piano idoso, Sr. Abisay José da Silva (*in memoriam*), que com muita persistência tocou suas músicas preferidas até o final de sua vida, em 2009. Apesar de muito gratificante, minha experiência prática pedagógica revelou, desde os seus primórdios, que a dificuldade de sincronização sensório-motora era uma realidade para grande parte dos indivíduos idosos que se submetiam à aprendizagem de um instrumento musical. Tal dificuldade não era prevalente, por exemplo, entre crianças e adolescentes. Porém, o avançar da idade trazia consigo esse obstáculo na concretização do fazer musical.

Tendo concluído o curso de Licenciatura em Música na Universidade de Brasília em 1997, ingressei no ano seguinte, como professora, na Secretaria de Estado de Educação do Distrito Federal e, em 2001, por meio de concurso de remoção, passei a fazer parte do quadro de docentes do CEP-Escola de Música de Brasília. Neste estabelecimento de ensino, desde 2011, faço parte da Coordenação da Musicalização Infantojuvenil e ao longo dos anos ministrei principalmente aulas de musicalização para crianças e adolescentes. Entretanto, sempre nutri profunda admiração por pessoas idosas que se aventuravam no terreno da educação musical.

Dessa forma, em 2006 ingressei no curso de especialização em Educação Musical, na Fundação Brasileira de Teatro – Faculdade de Artes Dulcina de Moraes, e em 2007 iniciei minha trajetória no curso de Mestrado, no Programa de Pós Graduação em Música, da Universidade de Brasília – UnB. Em ambos os cursos, o foco principal das pesquisas estava direcionado a questões relativas à aprendizagem musical de idosos e às suas motivações para o engajamento em atividades musicais. O tema da monografia desenvolvida versou sobre o “Canto Coral na terceira idade: suas práticas, motivações e perspectivas”, enquanto o título

da dissertação foi: “Cada passo é uma vitória: saberes que norteiam a formação e atuação de professores de música com alunos idosos” (1). Os resultados desses estudos foram publicados na Revista da ABEM – Associação Brasileira de Educação Musical (2).

Na busca por atender alunos idosos, em 2012, tive o privilégio de oferecer, na Escola de Música de Brasília, um curso direcionado especificamente a pessoas com idade a partir de 60 anos. No curso “Musicalização e Teclado em Grupo para a Terceira Idade”, foram ministradas aulas semanais em que os estudantes idosos, em sua maioria, iniciantes, tinham a oportunidade de aprender noções de teoria musical e tocar, em grupo, ao teclado, um repertório musical previamente selecionado. Posteriormente, o mesmo curso, com formato semelhante também foi oferecido em algumas edições do CIVEBRA – Curso Internacional de Verão da Escola de Música de Brasília. Tais experiências reforçaram ainda mais a minha inquietação a respeito de como auxiliar as pessoas nessa faixa etária a executarem seu repertório musical de forma satisfatória, principalmente no que se refere aos aspectos rítmico-musicais.

Após realizar leituras sobre música e neurociência e me fascinar com a temática sobreveio-me o desejo de dar sequência aos meus estudos sobre música e idoso. De forma não planejada, em 2017, tive a oportunidade de entrar em contato com a professora Dra. Maria Clotilde Henriques Tavares, por intermédio de minha saudosa e aplicada aluna de piano, Solange Caçador H. Tavares (*in memoriam*), que até os seus 89 anos de idade esteve firme e dedicada ao estudo do instrumento. Manifestei, então, meu interesse em desenvolver pesquisa que retratasse os aspectos rítmico-musicais direcionados ao indivíduo idoso. A proposta teve aceitação favorável e o projeto passou a ser delineado.

Assim, em 2018, candidatei-me à vaga e fui aprovado no curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, com projeto que novamente tratava de questões relacionadas à temática dos idosos, porém, agora, com um viés distinto, não mais voltado a questões pedagógicas referentes à aprendizagem musical do idoso, mas respectivo à capacidade de sincronização sensório-motora a partir da pulsação rítmico-musical.

Novos horizontes se abriram e, com muita satisfação, os caminhos da Neurociência da Música e seus inúmeráveis meandros passaram a fazer parte do meu cotidiano. Passei a integrar o grupo “Acorde, Ciência para a Música”, criado e

coordenado pela Profa Maria Clotilde, em cujas reuniões foi possível a troca de conhecimentos e a fusão entre temas análogos às áreas da música e neurociência.

Em 2019, participei do 14º Simpósio Internacional de Cognição e Artes Musicais (SIMCAM), ocasião em que foram apresentados e publicados os artigos “Respostas emocionais ao ritmo musical” (3) e “Expectativas musicais relacionadas à harmonia como gatilho para emoções” (4) em parceria com a professora Maria Clotilde e o professor e compositor da Escola de Música de Brasília, José Eugênio Matos. O encanto pelas constatações dos benefícios da música para o indivíduo idoso levou-me ainda a escrever um artigo de revisão sob o tema “Impactos do treinamento musical na plasticidade cerebral e na proteção neurocognitiva de indivíduos idosos”, tendo o mesmo sido apresentado em outubro de 2021 na Escola de Música de Brasília, por ocasião das comemorações da semana do músico.

A trajetória exposta motivou e delineou o desenvolvimento do presente estudo, que será apresentado em dez capítulos. Inicialmente é apresentada a introdução do estudo. Posteriormente é apresentada a revisão de literatura concernente aos temas envolvidos na pesquisa. No terceiro capítulo é apresentada a justificativa do estudo. O quarto capítulo apresenta os objetivos da pesquisa. No quinto capítulo são apresentados os métodos da pesquisa, que incluem instrumentos de coletas de dados, procedimento e análise de dados. O sexto capítulo é destinado aos resultados da pesquisa. O capítulo sete destina-se à discussão dos resultados. Os capítulos oito e nove apresentam, de forma sintética, as considerações finais e conclusão da pesquisa, com sugestões de futuras pesquisas envolvendo o tema. Por fim, são apresentadas as referências.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	23
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	28
2.1. A EXPERIÊNCIA RÍTMICO-MUSICAL: DESAFIOS COGNITIVOS E VARIAÇÕES RELACIONADAS À IDADE NA CAPACIDADE DE PERCEBER E PRODUIR RITMOS.....	28
2.2. AS FUNÇÕES EXECUTIVAS.....	29
<b>2.2.1. Declínio das Funções Executivas em Idosos</b> .....	32
<b>2.2.2. Treinamento Musical e Funções Executivas</b> .....	33
2.3. DECLÍNIOS FISIOLÓGICO E COGNITIVO ASSOCIADOS AO ENVELHECIMENTO.....	35
<b>2.3.1. Envelhecimento e Declínio das Funções Motoras</b> .....	38
2.4. O TREINAMENTO MUSICAL COMO PROMOTOR DE PLASTICIDADE CEREBRAL E PROTEÇÃO NEUROCOGNITIVA DE INDIVÍDUOS IDOSOS.....	42
<b>2.4.1. Implicações do Treinamento Musical no Processamento Auditivo Central (PAC)</b> .....	50
2.5. O RITMO MUSICAL.....	52
<b>2.5.1. O Ritmo Musical e Conceitos Correlacionados</b> .....	52
<b>2.5.2. O Ritmo Musical e Processos de Percepção</b> .....	54
<b>2.5.3. O Ritmo Musical e a Sincronização</b> .....	56
<b>2.5.4. Déficits rítmicos em adultos idosos e os potenciais benefícios do treinamento musical na habilidade rítmica.</b> .....	60
2.6. ÁREAS CEREBRAIS ENVOLVIDAS NA ATIVIDADE MUSICAL .....	65
<b>2.6.1 Áreas cerebrais envolvidas na atividade rítmico-musical</b> .....	68
2.7. A ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) OU TDCS (TRANSCRANIAL DIRECT CURRENT STIMULATION) .....	76
<b>2.7.1. Breve Histórico da Estimulação Elétrica Transcraniana</b> .....	79
<b>2.7.2. A tDCS e as Funções Cognitivas</b> .....	81
<b>2.7.3. A tDCS e as funções motoras</b> .....	83
<b>2.7.4. A tDCS versus Habilidades Musicais - Funções Motoras e Cognitivas Associadas ao Treinamento Musical</b> .....	84
3. JUSTIFICATIVA.....	92
4. OBJETIVOS.....	89
4.1 OBJETIVO GERAL.....	89
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	89
5. MÉTODOS .....	90
5.1. ASPECTOS ÉTICOS .....	90
5.2. TIPO DE ESTUDO.....	90
5.3. RECRUTAMENTO DA AMOSTRA .....	90
<b>5.3.1. Critérios de Inclusão</b> .....	91

<b>5.3.2. Critérios de Exclusão</b> .....	92
5.4 PARTICIPANTES.....	98
5.5. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS.....	94
<b>5.5.1. Avaliação da Dominância Manual – Edinburgh Handedness Inventory</b> .....	95
<b>5.5.2. Rastreo Cognitivo – Teste de MoCA (Montreal Cognitive Assessment)</b> .....	96
<b>5.5.3. Teste de STROOP</b> .....	97
<b>5.5.4. Testes do Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery (CANTAB)</b> .....	99
<b>5.5.5. O Harvard Beat Assessment Test (H-BAT)</b> .....	105
<b>5.5.6. SEQTAP – Sequential Finger Tapping Task</b> .....	111
5.6. PROCEDIMENTO.....	113
5.7. EQUIPAMENTOS.....	115
<b>5.7.1. Tdcs-Trasncranial Direct Current Stimulation ou Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua</b> .....	115
<b>5.7.2. Software, Equipamentos e Programas Computacionais</b> .....	116
5.8. ANÁLISE DE DADOS .....	116
6. RESULTADOS .....	123
6.1. CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS DA AMOSTRA.....	123
6.2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DOMINÂNCIA MANUAL: INVENTÁRIO DE EDINBURGH .....	124
6.3. AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES EXECUTIVAS.....	131
<b>6.3.1 MoCA (Montreal Cognitive Assessment)</b> .....	125
<b>6.3.2 Teste de Stroop</b> .....	126
6.4. RESULTADOS DO CAMBRIDGE NEUROPSYCHOLOGICAL TEST AUTOMATED BATTERY – CANTAB.....	128
<b>6.4.1. Resultados do teste MOT (Motor Screening Task)</b> .....	128
<b>6.4.2. Resultados do PAL (Paired Associates Learning) – Aprendizado Pareado Associado</b> .....	129
<b>6.4.3 Resultados do SWM (Spatial Working Memory) - Memória de Trabalho Espacial</b> .....	132
6.5. HARVARD BEAT ASSESSMENT TEST (H-BAT).....	136
<b>6.5.1. Music Tapping Test (MTT) – Teste de Escutas Musicais</b> .....	136
<b>6.5.2. Beat Interval Test (BIT) – Teste de Intervalo de Batida e Beat Finding and Interval Test (BFIT) – Teste de Descoberta e Intervalo de Batida</b> .....	141
6.6. SEQUENTIAL FINGER TAPPING TASK (SEQTAP) – TAREFA DE APRENDIZAGEM DE SEQUÊNCIA MOTORA.....	149
7. DISCUSSÃO.....	155
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	177
9. CONCLUSÃO .....	178
10. REFERÊNCIAS .....	181

# 1. INTRODUÇÃO

O envolvimento com atividades musicais é um comportamento extremamente comum, compartilhado pelos humanos de todas as culturas. A música pode ser considerada um dos estímulos mais complexos e de múltiplos domínios para o cérebro humano, sua prática envolve uma rede de áreas cerebrais temporal, frontal, parietal, cerebelar, límbica e paralímbica, associada a múltiplos processos paralelos cognitivos, verbais, visuais, auditivos, proprioceptivos, vestibulares, motores e emocionais, além de relacionar-se à memória e às funções executivas. Sua execução requer atenção, sincronização, desempenho e coordenação em nível individual e coletivo (05) (06) (07).

Dentre todas as habilidades necessárias à execução musical, a experiência rítmica talvez seja uma das mais abrangentes, uma vez que é sobre a base rítmica da música que são acrescentadas a melodia e a harmonia (08). O ritmo é a estrutura central da música, ordena o movimento de padrões musicais no tempo e se torna indispensável, na medida em que pode existir sem melodia ou harmonia enquanto a existência de ambas não é possível na ausência do ritmo (09). O aspecto temporal da estrutura musical está no centro do que torna a música tão especial para os seres humanos e os move de maneira tão emocional (10).

A capacidade de percepção e produção do ritmo musical desempenha um papel central na musicalidade humana e surge espontaneamente na maior parte dos indivíduos sem treinamento musical explícito, constituindo-se uma habilidade humana difundida (11) (05). Comparações da função cerebral de músicos e não músicos mostram que os músicos, além de possuírem maior corpo caloso, o que permite um número maior de sinapses entre os dois hemisférios cerebrais, apresentam o córtex motor maior e com neurofilamentos mais desenvolvidos. Isso significa que o cérebro pode trabalhar mais rapidamente (12). Além disso, o tamanho dessa região está relacionado ao desempenho de sincronização auditivo-motora, o que sugere que as mudanças estruturais estão relacionadas às habilidades de ritmo e tempo (13). Infere-se, portanto, que o treinamento musical tem influência substancial sobre o processamento do ritmo musical, o que pode ser observado por meio de mudanças no comportamento, ativação e estrutura de áreas cerebrais.

Ademais, pessoas que possuem formação musical, comparadas a não músicos parecem possuir um processamento mais rápido e preciso de características rítmicas, o que desencadeia representações mais consistentes e uma percepção mais precisa da estrutura métrica e de grupos rítmicos. Destaca-se ainda que os cérebros de músicos respondem mais fortemente e mais rapidamente a desvios de previsões rítmicas (13) (14).

Os efeitos do treinamento musical podem ser observados no desempenho rítmico de crianças e adolescentes. A comparação do desempenho de crianças e adolescentes músicos e não músicos demonstra que os músicos realizam tarefas de temporização mais precisas do que os não músicos. Crianças e adolescentes treinados musicalmente apresentam maior precisão de movimentos rítmicos discretos, como, por exemplo, em tarefas de *finger tapping*. Nesse caso observa-se um melhor desempenho motor em virtude de anos de treinamento extensivo (15). Da mesma forma, em idosos, o treinamento musical é capaz de influenciar a conectividade funcional do cérebro e proporcionar simultâneas vantagens cognitivas e sensório-motoras na idade avançada (16).

Ademais, existem evidências da existência de uma rede específica de áreas neurais, corticais e subcorticais, envolvidas com o ritmo musical. O ritmo periódico da música, por exemplo, é realizado por uma rede de regiões motoras, no córtex motor frontal e córtices pré-motores, núcleos da base e cerebelo (14). Em decorrência de estímulos rítmicos é possível verificar, por meio de mapeamentos, a ocorrência de ativações em áreas como o córtex sensório-motor, a área motora suplementar, o cerebelo, os núcleos da base e o córtex pré-frontal (17) (08) (13).

Considerando as áreas subcorticais envolvidas no processamento do ritmo, os papéis do cerebelo e da área motora (M1) têm sido destacados. O cerebelo permite a coordenação e o aperfeiçoamento de movimentos, integrando informações sensoriais e motoras e parece estar envolvido na cronometragem do intervalo de tempo. A área pré-motora e a área motora suplementar estão fortemente interligadas aos núcleos da base e ao cerebelo, e têm papéis no planejamento, no controle voluntário e na execução de movimentos (14). Estudos de neuroimagem envolvendo uma variedade de diferentes tarefas, tais como o bater do dedo com memória temporal de toque, toque em resposta a estímulos, discriminação de duração, têm mostrado a

atividade do cerebelo, indicando que a resposta cerebelar é exclusiva para intervalos de subsegundos (14) (123).

A neuromodulação pode influenciar a percepção e a produção do ritmo, uma vez que induz alterações específicas da polaridade na excitabilidade dos neurônios corticais, potencializando o aprendizado motor (18). Recentemente, tem sido utilizada como ferramenta neuromoduladora a tDCS - Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua – uma técnica apontada como promissora na indução da neuroplasticidade cortical (18).

Trata-se de uma técnica de neuromodulação não-invasiva, muito utilizada como ferramenta para fins de neuroreabilitação. Ela age provocando alterações na excitabilidade dos neurônios subjacentes da área cortical estimulada (19). A estimulação transcraniana por corrente contínua (tDCS) de diferentes áreas corticais pode resultar em modificações das funções perceptivas, cognitivas e comportamentais (20). O favorecimento do processo de aprendizagem e a melhora das funções cognitivas em virtude da aplicação da tDCS sob indivíduos sadios tem sido demonstrados (21). Tal técnica tem sido utilizada para verificar os seus possíveis efeitos na performance musical. Efeitos positivos decorrentes da tDCS anódica sobre as áreas motora (M1) e cerebelar foram encontrados em estudos com a participação de músicos e não músicos. Resultados positivos decorrentes do emprego da tDCS em atividades que envolvem tarefas de aprendizado motor têm sido demonstrados. Seus efeitos têm permitido auxiliar tanto a retenção quanto a manutenção de atividades motoras pré-adquiridas ou complexas (18) (19).

A prática musical tem atraído públicos de várias faixas etárias e cada vez mais, indivíduos idosos têm se aventurado em atividades de ensino e aprendizagem musical (02). Entretanto, com o avançar da idade, podem ocorrer modificações relacionadas ao funcionamento cerebral, tais como: a redução do volume do córtex, o espessamento das meninges, a diminuição dos neurotransmissores, a redução do volume do hipocampo, entre outros (22) (23), além do declínio das funções cognitivas e da plasticidade cerebral. Dessa forma, o início tardio de práticas musicais pode comprometer, entre outros aspectos da música, a execução do ritmo, na medida em que durante o envelhecimento as possíveis ocorrências de déficits cognitivos podem levar à menor precisão no desempenho rítmico (24).

Apesar de tais fatores negativos que acompanham o envelhecimento, o treinamento musical pode ser uma prática positiva indicada para diminuir os efeitos do avançar da idade e até mesmo retardar ou impedir o declínio das funções cognitivas (25). Diferenças significativas podem ser observadas, por exemplo, na fluência verbal, na memória não-verbal e nas funções executivas de idosos músicos com experiência musical em comparação a não músicos (26) (16) (57). Idosos que iniciaram o estudo de piano após 60 anos de idade por um período de seis meses, por exemplo, apresentaram um resultado superior em suas habilidades motoras, velocidade da percepção e a memória de trabalho quando comparados a um grupo controle que não recebeu o treinamento musical (27).

Considerando-se que o córtex motor primário (M1) é responsável, entre outras funções, pela aprendizagem de sequências motoras e o cerebelo tem função importante na sincronização e correção online de desajustes rítmicos, optou-se pelo protocolo de aplicação nas respectivas áreas, com indivíduos idosos com e sem treinamento musical.

É notório que a população mundial de idosos vive um aumento progressivo de envelhecimento (28). Entretanto, apesar dos declínios fisiológicos e cognitivos inerentes ao envelhecimento, o treinamento musical pode ser capaz de favorecer as habilidades cognitivas e retardar os sintomas do envelhecimento (29) (30) (16) (31) (32) (33) (34) (35) (36). Nessa perspectiva, a tDCS pode se apresentar como instrumento de favorecimento da aprendizagem e manutenção de habilidades motoras (18) (19). Considerando que a sincronização rítmica é prejudicada com o avanço da idade (37, 38), o que acarreta prejuízos à execução musical/instrumental, o presente estudo justifica-se pela necessidade de se investigar a eventual interferência da tDCS sobre a percepção e produção do ritmo musical sobre as habilidades motoras de indivíduos idosos, aspecto tão importante para que a execução musical se torne factível na vida desse público etário.

Embora as pesquisas que envolvem tDCS e a produção e percepção musical estejam em crescente expansão, estudos específicos referentes à sincronização rítmico-musical de indivíduos idosos e tDCS são relativamente limitados. Os desdobramentos do vigente estudo podem expressar mecanismo relevante para a identificação, entendimento e possível amenização de

dificuldades rítmico-musicais de indivíduos idosos que se envolvem com práticas musicais.

O presente estudo espera contribuir com a neurociência da música, no sentido de auxiliar tanto profissionais que trabalham com idosos, quanto a indivíduos idosos que se submetem à aprendizagem musical. Tem-se a pretensão ainda, de encorajar pessoas idosas sem conhecimento musical prévio a se aventurarem no terreno musical, considerando-se as vantagens do treinamento musical nesse período etário. Destaca-se, ainda, a necessidade emergente de investimento em pesquisas que abordem os múltiplos aspectos envolvidos no envelhecimento (39).

Com base no exposto levantou-se a hipótesede que a tDCS anódica aplicada sobre as áreas cerebelar e motora (M1) seja capaz de otimizar a excitabilidade neuronal e aprimorar o desempenho rítmico e motor de indivíduos idosos empenhados no treinamento musical. Espera-se, ao final da pesquisa, que os idosos com treinamento musical apresentem desempenho rítmico, sensório-motor e de percepção superiores aos participantes que não possuíam treinamento musical. Entende-se como treinamento musical o período dedicado ao estudo formal de música, com um *feedback* de um professor, além do número de horas praticadas no instrumento. Ou seja, inclui o tempo de aula e o tempo de estudo.

Espera-se ainda, que o desempenho dos participantes sem treinamento musical também seja melhorado após a aplicação da neuromodulação, o que poderá indicar a eficácia da estimulação por tDCS, aplicada sobre o cerebelo e a área motora, para a otimização das funções motoras, tanto para o público inserido em atividades musicais quanto para aqueles que desejem se engajar na prática musical.

Dessa forma, o presente estudo pretende responder à seguinte pergunta: a neuromodulação induzida por tDCs é capaz de melhorar/otimizar a percepção e a produção rítmico-musical de indivíduos idosos com e sem treinamento musical? Os desdobramentos dessa questão serão verificados no decorrer da apresentação do estudo.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. A EXPERIÊNCIA RÍTMICO-MUSICAL: DESAFIOS COGNITIVOS E VARIAÇÕES RELACIONADAS À IDADE NA CAPACIDADE DE PERCEBER E PRODUZIR RITMOS

Os desafios cognitivos decorrentes da interpretação musical instrumental, ao contrário de outras atividades sensoriais e motoras, estão entre os mais exigentes dos quais a mente humana pode se apropriar (40). Por se tratar de uma tarefa altamente complexa, a execução de um instrumento musical pressupõe a integração de funções cognitivas de ordem superior, de várias regiões sensoriais do cérebro (41) (29). Trata-se de uma experiência multissensorial que requer habilidades como a leitura de um sistema simbólico complexo, a notação musical, sua tradução em atividade motora, além da precisão rítmica (25). Em virtude de sua complexidade, o estudo da música pode representar um importante privilégio para a função cerebral, uma vez que envolve praticamente todos os processos cognitivos: atenção, memória, categorização, ação motora, planejamento, previsão, emoção e comunicação (10).

Em suas práticas musicais, os indivíduos diferem muito quanto à capacidade de perceber e produzir ritmos com precisão. Além de o treinamento musical contribuir para as habilidades de ritmo, existem outros fatores importantes também relacionados à atividade, como a sensibilidade à batida e a capacidade auditiva de memória de curto prazo (13). A idade também pode ser um fator capaz de influenciar o desempenho da métrica, como demonstram estudos específicos sobre o ritmo musical (42). Nesse sentido, a atenção dedicada pelo observador ao ritmo que está sendo seguido (ritmo de atenção, na percepção de sequências, é específica para o indivíduo e pode variar com a idade. As variáveis biológicas e cognitivas afetam o julgamento da duração. Dessa forma, enquanto as crianças pequenas tendem a focar a atenção em tempos rápidos, os adultos se concentram em tempos mais lentos. Assim, as deficiências em eventos e ações temporais verificadas nos idosos provavelmente ocorrem devido a alterações relacionadas à idade em um marcapasso interno e em recursos atencionais, especialmente aqueles que envolvem atenção ao tempo (24). Sob essa ótica, julgamentos menos precisos

em adultos mais velhos, em comparação com os de jovens adultos, podem estar relacionados a uma interação entre mudanças na taxa de relógio interno e nos processos cognitivos (24).

A prática musical pode ajudar o cérebro a trabalhar de forma mais efetiva, levando-o a realizar conexões mais rápidas, armazenar e recuperar maiores quantidades de informações, além de induzir diferenças no sistema motor durante a percepção do ritmo e da pulsação (43) (12). O treinamento musical na infância, por exemplo, parece ser um recurso capaz de produzir, de forma duradoura, possíveis incrementos nas funções executivas (44) (45). A prática musical pode produzir efeitos consistentes e ocasionar modificações na estrutura cerebral em todas as idades, mesmo na velhice. Além disso, o treinamento musical também pode reduzir os declínios na cognição de ordem superior, como as funções executivas, que serão descritas a seguir.

## 2.2. AS FUNÇÕES EXECUTIVAS

As funções executivas (FE) também chamadas de controle executivo ou controle cognitivo são processos mentais superiores, cujo funcionamento está atrelado ao córtex pré-frontal, necessários à concentração e atenção, habilidades indispensáveis para a saúde física e mental e para o desenvolvimento cognitivo, social e psicológico do indivíduo (46) (47). Trata-se de um conjunto de processos de controle cognitivos necessários a atividades que exigem raciocínio, concentração e controle de impulsos. Tais processos de controle são, na maioria das vezes, mediados pela função cortical pré-frontal (48). Os três pilares principais das funções executivas são: 1) o controle inibitório (inibição, autocontrole, controle de impulsos, ou controle de interferência); 2) a Memória de Trabalho; 3) a Flexibilidade Cognitiva (46) (47) (48). Tais processos possibilitam uma reflexão atenta, deliberada e intencionada para o alcance de um objetivo. Esses elementos das FE incluem três dimensões distintas, porém, interligadas (46) (47).

A função controle inibitório corresponde à capacidade de controle da atenção, do comportamento, dos pensamentos e ou emoções com o propósito de anular uma forte propensão interna. O controle inibitório da atenção (controle da interferência no nível da percepção) permite ao indivíduo uma seletividade no sentido de focalizar o que escolhe e suprimir a atenção a outros estímulos ou simplesmente escolher ignorar (inibir a atenção) a determinados

estímulos e prestar atenção em outros, de acordo com a sua intenção ou objetivo. Pode ser chamado também de atenção seletiva, endógena, ativa, voltada para o objetivo, voluntária, volitiva ou executiva (47).

O autocontrole é um aspecto do controle inibitório que envolve o controle sobre o próprio comportamento e o controle sobre as emoções que estão sob a incumbência do controle do comportamento. Ele envolve a resistência a tentações e aos impulsos ou a disciplina necessária para se concentrar em uma tarefa, independentemente da tentação de renunciá-la para se envolver em uma ocupação mais atrativa. Outro aspecto do autocontrole é ter a disciplina para permanecer na tarefa apesar das distrações e concluir uma tarefa apesar da tentação de desistir, de prosseguir para um trabalho mais interessante ou, em vez disso, divertir-se (47).

O controle de interferências, por sua vez, auxilia na supressão de representações mentais preponderantes, ou seja, a inibição cognitiva, o que engloba a resistência a pensamentos ou memórias estranhas ou indesejadas, e abrange o esquecimento intencional. Inclui ainda a resistência à interferência retroativa de informações adquiridas anteriormente e de elementos apresentados posteriormente (47).

O segundo elemento central das FE é a Memória Operacional ou Memória de Trabalho, que consiste na manutenção da informação na mente e o trabalho mental com informações que não estão mais presentes de forma perceptiva. Ela pode ser verbal e não-verbal (visual-espacial). A memória de trabalho é indispensável para dar sentido a tudo o que se desenrola ao longo do tempo, uma vez que há necessidade de se relacionar mentalmente acontecimentos anteriores e os que ocorrerão posteriormente, como, por exemplo, dar sentido a uma frase escrita ou falada. Inclui ainda a tradução de instruções em plano de ação, a integração de novas informações no pensamento, a consideração de alternativas, além de relacionar-se mentalmente com princípios gerais e suas inter-relações. A memória de trabalho é imprescindível para que o raciocínio ocorra e permite enxergar conexões entre elementos aparentemente desconectados, além de separar componentes de um todo integrado, possibilitando a criatividade. Possibilita, além das informações perceptuais, o conhecimento conceitual na sustentação das decisões e considera lembranças do passado e esperanças do futuro nas tomadas de decisões e planos (47). A memória de trabalho permite recuperar,

armazenar, fragmentar, monitorar, analisar, relacionar, pensar e recordar informações em curto prazo, tanto auditivas, quanto não auditivas. Em se tratando do processamento musical, a memória de trabalho tem a função de integrar eventos sonoros, recuperar informações de sistemas de memória, vincular sons a significados e memórias e apoiar a geração de reações emocionais (46) (49).

Ressalta-se que a Memória Operacional ou de trabalho e o controle inibitório trabalham em parceria, salvo raríssimos casos, sendo que quando se necessita de um, também é necessário o outro, como por exemplo, em situações em que é necessário agir com base em informações mantidas na mente, contra a tendência inicial, o que possibilita o aumento da probabilidade de que tais informações sejam norteadoras do comportamento e, conseqüentemente, possibilitem a diminuição dos erros inibitórios (47).

O terceiro elemento central do funcionamento executivo é a flexibilidade cognitiva. É baseado nos elementos anteriores e se apresenta mais tardiamente no desenvolvimento do indivíduo. A flexibilidade cognitiva permite a mudança das perspectivas espacialmente ou interpessoalmente. Para que isso ocorra há necessidade de se inibir a perspectiva anterior e carregar na memória de trabalho um novo ângulo. Outra atribuição da flexibilidade cognitiva é a sua relação com a mudança de alternativas para se resolver determinado problema, ou seja, mudar a forma de pensar sobre algo e “pensar fora da caixa”. Ela envolve ainda, ser flexível de maneira a se adaptar a novas demandas ou prioridades, admitir o erro e aproveitar oportunidades súbitas e inesperadas (47). A flexibilidade cognitiva permite a mudança de perspectiva no pensar e agir, a consideração de diferentes ângulos na tomada de decisão, possibilitando a compreensão de diversas estratégias na solução de problemas, na percepção de um erro e sua correção (46).

As capacidades relacionadas às funções executivas incluem a possibilidade de organizar diferentes atividades no dia a dia, planejar e executar etapas de um objetivo de longo prazo, concluir tarefas apesar de interrupções e distrações, controlar impulsos, manter o foco, refazer planos e realizar diferentes ações simultaneamente (46). As funções executivas fornecem suporte à percepção e execução musical, na medida em que oferecem apoio a atividades como memória, planejamento, raciocínio, atenção sustentada, concentração e inibição comportamental (50) (51).

Na visão de Miendlarzewska & Trost (2014), as funções executivas, bem como o processamento temporal podem ser importantes elementos para a capacidade de tocar um ritmo acústico, por implicar em integração sensório-motora, coordenação de movimentos e antecipação. Ademais, a capacidade de sincronizar-se com um ritmo externo ao tocar um instrumento recruta, além das habilidades motoras finas, a coordenação auditivo-motora e a integração sensório-motora. Tais capacidades são vitais no planejamento e na execução de movimentos em geral e exigem o engajamento das funções executivas (25).

De acordo com Diamond (2013), as FEs possibilitam “brincar” mentalmente com as ideias, adaptar-se a elas com rapidez, assegurar flexibilidade a novas circunstâncias, considerar o que fazer a seguir, resistir às tentações, manter o foco e enfrentar novos desafios e imprevistos. A partir das três funções principais (controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva) são construídas as FE de ordem superior, como raciocínio, resolução de problemas e planejamento (47).

Destaca-se que as FEs podem ser aprimoradas em qualquer idade, ao longo do ciclo de vida, inclusive em idosos. Isto é comumente chamado de “inteligência fluida” e corresponde ao componente de raciocínio e solução de problemas das funções executivas, que pode ser melhorado por meio de treinamento e prática (49).

### **2.2.1. Declínio das Funções Executivas em Idosos**

As funções executivas tendem a sofrer limitações graduais em decorrência do envelhecimento (59) (60) (30). O controle inibitório, por exemplo, apresenta um declínio visível durante o envelhecimento normal (47). Adultos idosos apresentam dificuldades em inibir distrações visuais e auditivas. Adultos mais velhos são propensos a aumentar a quantidade de respostas a estímulos, entretanto, possuem dificuldade em suprimir estímulos que devem ser ignorados. Tal comportamento fornece fortes evidências de que o envelhecimento leva consigo um déficit de controle inibitório (47).

A pesquisa de Zanto et al. (2010) exemplifica o déficit inibitório de idosos. No estudo em questão, idosos saudáveis de 60 a 80 anos foram submetidos ao EEG (eletroencefalograma) enquanto deveriam lembrar ou ignorar estímulos, com ou sem conhecimento prévio de quando os estímulos

relevantes ou irrelevantes deveriam aparecer. Observou-se que, independentemente das instruções da tarefa, o desempenho da memória de trabalho se mostrou consistente, tendo sido observado o aumento da atividade neural após o atendimento aos estímulos. Entretanto, as respostas neurais relativas à supressão de estímulos irrelevantes permaneceram ausentes nas tarefas. Tal resultado apoia a hipótese da existência do déficit inibitório no envelhecimento cognitivo e sugere que a falta de supressão de estímulos em adultos mais velhos não ocorre em virtude de atrasos na velocidade de reconhecimento ou na avaliação da relevância do estímulo, mas está relacionado ao declínio específico de mecanismos atrelados ao filtro de informações irrelevantes (61).

A Memória de Trabalho também tende a diminuir durante o envelhecimento, supostamente em face do declínio do controle inibitório, o que conduz muitos idosos à vulnerabilidade (62) (47). Enfim, observa-se de forma gradual, na maioria dos idosos saudáveis, a diminuição das funções executivas e seus subprocessos, tais como a inibição, a atualização da memória de trabalho e a flexibilidade cognitiva (16).

### **2.2.2. Treinamento Musical e Funções Executivas**

O treinamento musical tem sido observado como um modelo importante para o estudo da plasticidade cerebral relacionada à experiência e para o desenvolvimento e envelhecimento saudável do cérebro (52).

A prática musical está associada à atenção seletiva, sustentada e alternada, bem como à inibição de estímulos auditivos e visuais irrelevantes, à manipulação de informações armazenadas de acordo com hierarquias complexas de regras e convenções, à leitura de notação musical, que requer fortes associações espaciais com símbolos e percepções. Considerando tais dinâmicas, os relatos de estudos nas últimas décadas têm estabelecido que o treinamento musical está associado a melhorias nas funções executivas, tais como o controle inibitório, memória de trabalho e flexibilidade cognitiva. Essas melhorias coincidem com mudanças na estrutura e função de regiões cerebrais associadas a esses processos cognitivos (52).

Nesse aspecto, as habilidades de funcionamento executivo são mais desenvolvidas em músicos do que na população geral, porém, não está claro

se o estudo da música desenvolve o funcionamento executivo pré-existente ou se as funções executivas levam ao sucesso na música (43) (12).

A função executiva mais frequentemente apontada como aprimorada em virtude da interferência do treinamento musical tem sido o controle inibitório, embora adultos com treinamento musical superem aqueles sem treinamento musical em várias tarefas comportamentais de memória de trabalho (52).

Nesse sentido, o estudo de Degé & Schwarzer (2017), apontou vantagens na capacidade de memória de trabalho de crianças em idade escolar submetidas ao mínimo de seis meses de aulas de música. Bergman et al. (2014), mediram, a cada dois anos, a capacidade de memória de trabalho de indivíduos com idades entre 6 e 25 anos. Os resultados do estudo revelaram que a prática musical foi associada a uma melhor capacidade de memória de trabalho em cada momento, sendo o aumento da capacidade da memória de trabalho proporcional às horas de prática musical semanal.

Na mesma perspectiva, existem evidências de que idosos músicos saudáveis também superam os idosos sem treinamento musical no que diz respeito à memória de trabalho visuoespacial e discriminação auditiva (34) (53), memória de trabalho auditiva, visual, bem como na capacidade de perceber a fala no ruído (54).

Do mesmo modo, testes de funções executivas realizados antes e após uma intervenção musical em idosos com comprometimento cognitivo leve revelaram um melhor desenvolvimento executivo após o treinamento musical em comparação com o grupo controle. O estudo revelou que a prática musical pode melhorar as funções executivas em idosos com comprometimento cognitivo leve a moderado, independentemente do grau de reserva cognitiva do indivíduo (55).

O estudo de Róman-Caballero et al. (2020), que investigou a relação entre musicalidade e múltiplos aspectos de atenção, incluindo componentes executivos e de excitação e vigilância, em uma amostra composta de músicos experientes e não músicos, verificou que os músicos superaram os não músicos em todos os resultados de vigilância executiva e excitação, indicando um melhor controle executivo nesse público (56).

Na mesma perspectiva, o estudo de Seinfeld et al. (2013), por exemplo, em que idosos praticavam aulas semanais de piano em grupo por um período de 4 meses (n=13), enquanto um grupo controle praticava exercícios físicos,

aulas de informática, aulas de pintura, entre outras (n=16) revelou indícios de que o treinamento musical pode trazer benefícios nas funções executivas. Os resultados da pesquisa mostraram que os idosos que aprenderam a tocar piano por um período de 4 meses apresentaram melhores resultados no Teste Stroop, que avalia a função executiva, o que pode refletir um aprimoramento do processamento seletivo, automaticidade e controle inibitório. Tal resultado sugere relação com o treinamento musical, uma vez que o grupo controle não apresentou a referida mudança de padrão ao longo do tempo (33).

De forma similar, o estudo de Bugos (2010) apontou o benefício de aulas de piano em grupo sobre as funções executivas, como velocidade de processamento, fluência verbal, planejamento e controle de inibição em indivíduos idosos de 60 a 85 anos. Os resultados do estudo revelaram que, embora ambos os grupos musicais (o grupo que tocava piano e o grupo de escuta musical) tenham melhorado significativamente o desenvolvimento das funções executivas, verificou-se que o desempenho dessas funções foi significativamente melhor no grupo que tocava piano em comparação com um grupo controle, que aprendeu elementos musicais enquanto ouvia música (57).

O estudo comportamental de Koshimori & Thaut (2019), realizado com 38 sujeitos, sendo 19 músicos profissionais e 19 não músicos, comparou a relação entre o treinamento musical e redes de alerta, orientação e atenção executiva de pianistas profissionais com um grupo pareado de adultos não músicos. O estudo concluiu que a rede de atenção executiva é mais eficiente em músicos do que em não músicos e que as funções executivas melhoram ao longo dos anos de formação musical. O estudo demonstrou evidências da existência de um provável efeito de transferência do treinamento musical sistemático para o controle atencional inibitório (58).

### 2.3. DECLÍNIOS FISIOLÓGICO E COGNITIVO ASSOCIADOS AO ENVELHECIMENTO

O envelhecimento do cérebro está suscetível à atrofia cortical global e à perda de sua integridade funcional, mesmo na ausência de quaisquer doenças neurodegenerativas (63). Algumas deteriorações nas funções cognitivas são originadas pelo envelhecimento normal e têm um impacto significativo na vida dos idosos (59). O declínio cognitivo e cerebral relacionado à idade se torna

mais acentuado por volta dos 60 anos. Com o passar dos anos, as funções cognitivas, tais como: velocidade de processamento, inibição, atenção, memória operacional e episódica, fluência semântica, habilidades visuoespaciais, visuoconstrutivas e funções executivas tendem a sofrer um declínio progressivo. Enquanto a inteligência fluida - processamento da informação, velocidade, memória ou resolução de problema - começa a diminuir a partir da terceira década de vida, a inteligência cristalizada - conhecimento, experiência, sabedoria e habilidades sociais tendem a aumentar com o passar do tempo (60) (30).

Simultaneamente, pode ocorrer, ao final da idade adulta, a atrofia do hipocampo, gerando, conseqüentemente, a diminuição do pensamento abstrato, da memória de trabalho, memória de longo prazo e um aumento progressivo do risco de demência (44) (63).

As mudanças cognitivas são acompanhadas por mudanças fisiológicas. A coordenação motora e a velocidade de movimento sofrem prejuízos com a idade. O número de neurônios e as suas interconexões sofrem declínio. Ocorrem perdas auditivas, especialmente para as altas freqüências (presbiacusia). A velocidade do processamento visual no cérebro e na retina também diminui. Há redução de força e massa muscular. Em decorrência da desaceleração da condutividade neural, o tempo de reação aumenta. Além disso, os músculos enfraquecem, especialmente em tarefas não treinadas (60).

Após os 30 anos, o cérebro tem perda de peso, no início lentamente, e depois cada vez mais rapidamente. Essa perda é atribuída à perda de mielina e de neurônios. Essa perda se acelera após os 70 anos e pode chegar ao total de 15% do peso máximo do cérebro aos 90 anos (64). De acordo com Papalia & Feldman, (2013) o cerebelo, responsável pela coordenação de atividades sensoriais e motoras, pode perder até 25% de suas células (65). Entretanto, estudo mais recente, de Liang & Carlson (2020) destaca, que, observações *post-mortem* concluíram que o cerebelo envelhece mais lentamente do que outras partes do cérebro. Imagens dessa região mostraram que, enquanto o envelhecimento do cérebro teve perda de 23% na captação de FDG (líquido radioativo na tomografia por emissão de pósitrons), o cerebelo mostrou apenas cerca 12% de perda. Na visão dos autores, tal fato pode indicar que indivíduos idosos podem se beneficiar de atividades que exigem sincronização sensorio-motora. Destaca-se ainda que, além do papel tradicional do cerebelo na

regulação do movimento, essa área também interage com componentes límbicos do cérebro, essenciais para a cognição e a regulação emocional (66).

Outro fato decorrente do envelhecimento é ocorrência da mudança na densidade/quantidade do neurotransmissor dopamina, resultante da perda de sinapses. Tal fato pode levar a um tempo de resposta mais lento, considerando que a dopamina ajuda a regular a atenção. Aos 50 anos, verifica-se a diminuição da bainha de mielina, responsável por permitir a rápida transmissão de impulsos neurais entre as regiões do cérebro. Tal degeneração pode levar a declínios cognitivo e motor (65).

O envelhecimento cerebral envolve ainda, mudanças como a perda de volume da substância branca e cinzenta, bem como declínios na integridade da substância branca. Apesar de a perda de neurônios ser avaliada como baixa, parece ocorrer encolhimento celular, perda ou regressão das arborizações dendríticas e das espinhas dendríticas, além da desmielinização (67) (30).

Nesse aspecto, o estudo longitudinal de Allen et al. (2005), utilizou a ressonância magnética de alta resolução para investigar o envelhecimento da substância cinzenta e branca nos principais lobos do cérebro de indivíduos não músicos, sendo um total de 87 sujeitos (43 homens, 44 mulheres), com idades entre 22 e 88 anos, durante o período de 4 anos. Os resultados do estudo fornecem evidências de que o envelhecimento da substância cinzenta e branca no cérebro humano, em decorrência da idade, apresenta variações de acordo com as regiões. Em todo o cérebro e na maior parte dos principais lobos, os volumes de substância cinzenta diminuem progressivamente durante a vida. O volume de substância branca, por outro lado, sofre um aumento até os 50-60 anos de idade. Após esse período, apresenta um declínio gradual e por volta dos 70 anos, a taxa de perda de substância branca começa a exceder a perda de matéria cinzenta (68).

A área que parece mostrar uma taxa mais rápida e pronunciada de diminuição de volume com a idade é o lobo frontal, quando comparado aos outros lobos, principalmente na faixa etária dos 70 e 80 anos (68) (63). Em contrapartida, a perda de volume na substância cinzenta e branca no lobo occipital está menos associada à idade (68). O lobo frontal foi o mais associado à perda de volume de substância cinzenta em decorrência da idade, enquanto o lobo temporal foi o mais fortemente associado à perda da substância branca com o passar dos anos (68). O volume do hipocampo, por exemplo, permanece

estável até aproximadamente 60 anos de idade, quando começa a apresentar uma rápida diminuição. Para o cérebro em geral e para os principais lobos, a massa cinzenta diminuiu linearmente com a idade, resultando em um declínio de cerca de 9,1 a 9,8% entre as idades de 30 e 70 anos e um declínio de 11,3-12,3% aos 80 anos. Aos 70 anos, o volume da substância branca era apenas 5,6-6,4% menor do que aos 30 anos, porém, aos 80 anos, um modelo de regressão cúbica previu que a redução seria de 21,6 a 25%. Em síntese, os resultados do estudo apontam uma perda aproximada de 12% de substância cinzenta e 23% de substância branca entre 30 e 80 anos (68).

Além dos declínios fisiológicos e cognitivos apresentados, estudos indicam ainda, que a diminuição da velocidade e a destreza sensório-motora, a redução do sentido do tato e outras limitações micromotoras que ocorrem com o aumento da idade, podem levar a mais ou menos restrições na execução instrumental (60).

O envelhecimento fisiológico tem um enorme impacto sobre todas as fases do processamento sensório-motor. As mudanças sensoriais afetam todos os órgãos do sentido: a audição, o paladar, o olfato e o tato (69) (70).

### **2.3.1. Envelhecimento e Declínio das Funções Motoras**

O aumento da idade em humanos é acompanhado da diminuição das funções motoras. Observam-se, principalmente lentidão motora e comprometimento dos movimentos finos e da coordenação. Em decorrência de alterações funcionais em redes motoras relacionadas ao envelhecimento, verifica-se a ocorrência de disfunções motoras na medida em que a idade aumenta (71). Pessoas a partir de 65 anos apresentam aumento da variabilidade e lentidão do movimento durante funções sensório-motoras, tais como propriocepção e cinestesia, planejamento motor antecipatório, destreza e coordenação motora (72).

No que diz respeito ao tato, estudos revelam que os limiares táteis em idosos saudáveis são maiores quando comparados a indivíduos jovens na mesma condição. Isso provavelmente acontece em decorrência de alterações na pele, no sistema nervoso central e periférico, no declínio da velocidade de condução nervosa sensitiva, além da diminuição da amplitude da ação sensorial potencial (70).

A funcionalidade das mãos, que representa uma importante parte sensorial tátil do corpo, essencial para várias atividades funcionais diárias e para a prática do instrumento musical é afetada pela idade. A discriminação tátil da mão sofre declínio com o envelhecimento normal e, ao contrário das outras modalidades sensoriais, não há consciência dessa perda tátil. O declínio da função sensorial tátil das mãos provavelmente ocorre em virtude de alterações musculoesqueléticas, como a diminuição da força muscular, alterações vasculares e dos centros cerebrais responsáveis pelo processamento unissensorial (73).

Inevitavelmente, tais alterações físicas geram reflexos na coordenação motora, nos reflexos proprioceptivos, na força, na velocidade dos movimentos e na resistência muscular. A motricidade, em conjunto com a força muscular, é essencial para a realização de atividades no processo de envelhecimento. Com o passar dos anos ocorre um declínio, principalmente da motricidade fina (70).

Estudo de Bowden & McNulty (2013), que investigou declínios relacionados à idade no desempenho motor das mãos e a redução da sensibilidade cutânea na mão, com adultos saudáveis, ao longo de sete décadas, revelou que a sensação cutânea e o controle motor tendem a sofrer deterioração com a idade. Acredita-se que os declínios relacionados à função sensorial e motora relacionados à idade estejam associados a alterações morfológicas nas fibras aferentes mielinizadas ou na redução do número de receptores sensoriais cutâneos. Entretanto, os resultados da pesquisa enfatizam que declínios relacionados à idade no desempenho motor não se associam à idade na sensação cutânea (74). O estudo mostrou ainda que a força, a destreza e a sensação na mão diminuem com a idade, mas em proporções diferentes. O declínio no desempenho motor observado em sete décadas foi menor para a tarefa de bater os dedos (*finger-tapping*) em comparação com a força de preensão manual, que sofreu mais deterioração com a idade (74).

O estudo revelou que os declínios na força e destreza começaram a acelerar rapidamente a partir dos 60 anos de idade. Em relação à diferença de declínio entre os gêneros, o rápido início de declínio da força em mulheres depois dos 60 anos pode estar relacionado a alterações hormonais que ocorrem na menopausa, enquanto presume-se que a redução mais gradual na

pegada à força masculina esteja ligada a um declínio correspondente nos níveis de testosterona. Outro fator que pode interferir no declínio da força de preensão manual decorrente da idade é a sarcopenia (74).

Os efeitos da idade e a dificuldade da tarefa na aprendizagem motora em adultos jovens e idosos foram recentemente estudados por Bootsma et al. (2021). O estudo concluiu que a idade e a dificuldade da tarefa podem interferir na aquisição e na retenção de habilidades motoras. A deterioração relacionada à idade no desempenho motor na linha de base apresentou deterioração mais pronunciada de acordo com o aumento da dificuldade da tarefa apresentada. Além disso, a dificuldade da tarefa afetou de forma diferente a aquisição e a retenção de habilidades motoras nas duas faixas etárias. Nos mais jovens a aquisição de habilidades motoras foi afetada apenas pela dificuldade das tarefas, enquanto nos idosos, a dificuldade da tarefa afetou a retenção das habilidades motoras. No que diz respeito à retenção, os adultos mais jovens consolidaram apenas melhorias na velocidade, enquanto os adultos mais velhos consolidaram apenas melhorias na precisão (75).

Outro fator que pode interferir na retenção das habilidades motoras é o sono. Sabe-se que os fusos do sono têm um papel importante na consolidação da memória e que a duração, amplitude e densidade dos fusos do sono se reduzem com o passar dos anos. Assim, a alteração da arquitetura do sono que ocorre com o aumento da idade possivelmente contribui para o prejuízo da retenção de tarefa de alta dificuldade em adultos mais velhos. Dessa forma, as relações entre os fusos do sono e a consolidação da memória motora apresentam diferenças entre adultos mais jovens e idosos (75).

Ademais, de acordo com Ragot (2002), o declínio observado nas funções motoras, como maior lentidão em uma tarefa de bater os dedos, pode estar relacionado à atividade da dopamina cerebral. A redução cerebral da dopamina em idosos normais poderia explicar, ao menos de maneira parcial, a desaceleração de mecanismos de manutenção do tempo com o avançar da idade. Além do prejuízo motor, a diminuição da dopamina pode contribuir ainda, para o prejuízo em tarefas que envolvem regiões frontais do cérebro (24).

Outro aspecto importante relacionado aos declínios motores que ocorrem durante o envelhecimento saudável é a coordenação olho-mão, uma habilidade

perceptivo-motora complexa que envolve a integração sensório-motora, tais como os sistemas visual, vestibular, de controle dos olhos, cabeça e braço, a propriocepção e os sistemas cognitivos, como atenção e memória. Em estudo que teve como objetivo examinar a ocorrência de declínios relacionados à idade na função sensório-motora, Marini et al. (2019), realizaram experimento que utilizou um dispositivo robótico desenvolvido para estudar o controle motor humano e neuroreabilitação e investigar mudanças na acuidade proprioceptiva do punho e a coordenação olho-mão em adultos jovens e idosos saudáveis. No estudo, a coordenação olho-mão foi determinada “por meio do tempo médio no alvo (porcentagem de tempo, “*time-on-target*”) e índice de linearidade”. O *time-on-target* representava a porcentagem de tempo de duração do teste em que o erro de rastreamento permaneceu abaixo de um limiar fixo, enquanto o índice de linearidade, definido como a razão entre o comprimento da trajetória ideal e a trajetória percorrida pelo efetor final, onde um valor de 1 indicava que o movimento no caminho e a trajetória ideal eram idênticos, e os valores acima de 1 indicavam um caminho do movimento mais longo do que o ideal e a trajetória apresentava um ou mais movimentos corretivos. O estudo revelou que os adultos idosos apresentaram valores de *time-on-target* mais baixos e maiores índices de linearidade em comparação com adultos jovens (19-29 anos) e adultos jovens mais velhos (30-49 anos) (72).

Além dos dados anteriormente apresentados, existe uma correlação entre funções cognitivas e motoras. O declínio relacionado à idade afeta fatores primários no desempenho de tarefas de coordenação motora: o processamento do tempo e o controle da carga atencional. Assim, a ocorrência de declínio cognitivo na idade avançada pode afetar a coordenação motora, bem como o controle atencional e as funções executivas (76).

A desaceleração da velocidade cognitiva pode resultar em restrições na execução instrumental. No entanto, as alterações funcionais relacionadas à idade diferem muito entre as pessoas e depende, por exemplo, do nível de treinamento. Destaca-se que pianistas profissionais, por exemplo, são menos afetados por restrições relacionadas à idade de habilidades manuais do que amadores sem treinamento. Essas restrições dizem respeito a solistas e músicos profissionais de orquestra, bem como músicos amadores (60).

De maneira oposta, apesar da possibilidade de declínios motores decorrentes da idade, o treinamento musical ao longo da vida pode favorecer a

preservação das habilidades de coordenação motora (37). Como tarefa sensório-motora bimanual, tocar instrumentos, por exemplo, favorece o treinamento motor e cognitivo em idosos, com evidências de benefícios relacionados ao aprimoramento cognitivo (76).

#### 2.4. O TREINAMENTO MUSICAL COMO PROMOTOR DE PLASTICIDADE CEREBRAL E PROTEÇÃO NEUROCOGNITIVA DE INDIVÍDUOS IDOSOS.

Apesar dos declínios cognitivos e fisiológicos inerentes ao avanço da idade, o treinamento musical pode proporcionar vantagens cognitivas no processo de envelhecimento. A alta heterogeneidade verificada nas trajetórias cognitivas faz com que alguns indivíduos apresentem declínio cognitivo, enquanto outros podem permanecer cognitivamente saudáveis ao longo da idade (30). Algumas dessas diferenças podem ser decorrentes de fatores genéticos protetores (31). Nesse sentido, ultimamente têm surgido evidências que preconizam que o sistema nervoso de músicos é diferente dos não músicos, possivelmente em virtude da plasticidade relacionada ao treinamento. Assim, o treinamento musical pode oferecer um modelo extraordinário para estudos cognitivo-comportamentais e para a investigação dos efeitos relacionados à aquisição, prática e manutenção de habilidades sobre o sistema nervoso (31).

Embora tradicionalmente aceitava-se a idéia de que o cérebro era moldado exclusivamente durante períodos críticos de desenvolvimento, atualmente se reconhece que, em resposta a estímulos internos e externos, tais como mudanças ambientais, o cérebro apresenta uma notável capacidade de modificar sua organização estrutural e funcional ao longo da vida (32) (77).

Apesar da tendência de o grau de plasticidade diminuir com a idade, as mudanças plásticas no cérebro induzidas pelo treinamento musical intensivo não se restringem ao cérebro em desenvolvimento, mas também ao cérebro adulto (32) (78).

Ademais, a neuroplasticidade pode ser promovida por meio do envolvimento em certas atividades estimulantes no decorrer da vida, o que pode ajudar a reduzir o impacto de doenças cerebrais e do envelhecimento cognitivo (30).

Existem evidências de que os processos de neurogênese e plasticidade também ocorrem no cérebro de adultos mais velhos (30). Tais evidências convergem para a concepção de que o treinamento modifica a estrutura e função do cérebro (neuroplasticidade morfológica e funcional) em todas as idades, mesmo na velhice (29), de modo que fazer música é uma atividade com o potencial de estimular e preservar a cognição (32). Nas últimas décadas, o treinamento musical tem atraído interesse como um dos modelos para a plasticidade cortical (32). Nessa perspectiva, um programa de treinamento projetado especificamente para facilitar a plasticidade do cérebro, ou envolver várias regiões do cérebro, especialmente as áreas frontal e pré-frontal, pode auxiliar na possível neutralização das consequências negativas associadas ao envelhecimento (32). Nesse contexto, a prática musical parece ser uma ferramenta promissora para reduzir o impacto das alterações cognitivas e cerebrais relacionadas à idade (30).

Estudos que relacionam a prática musical e a cognição têm demonstrado benefícios relevantes do treinamento musical para a neurocognição de indivíduos idosos. O estudo de Amer et al (2013), realizado com 43 participantes músicos e não músicos adultos de meia-idade e idosos também revelou resultados importantes sobre a capacidade cognitiva de indivíduos idosos. Os participantes foram submetidos a cinco tarefas que avaliaram a amplitude visuoespacial, o controle inibitório, a velocidade do processamento auditivo e a resolução de conflito auditivo. Comparados ao grupo controle, os músicos apresentaram melhor desempenho nas tarefas, com várias vantagens no processamento auditivo, na amplitude visuoespacial e em vários aspectos do controle cognitivo (34). Observou-se, por parte dos músicos, um controle mais aprimorado em comparação aos não-músicos, em relação aos eventos de distração visual ou espacial, sugerindo regulação inibitória preservada. Os resultados sugerem que o aprimoramento ou a preservação do domínio geral e habilidades de controle cognitivo em adultos idosos estão associados a altos níveis de perícia e envolvimento sustentado relacionados à produção musical, sendo o treinamento musical de longo prazo uma das atividades cognitivamente exigentes capazes de moderar o declínio cognitivo inerente à idade. Tais efeitos podem resultar na maior eficiência neural de redes de controle geral, o que permitiria a indivíduos cognitivamente

ativos a possibilidade de lidar melhor com as mudanças neurais decorrentes da idade (34).

De forma análoga, James et al. (2020) realizaram um estudo randomizado com 155 idosos saudáveis com idades entre 64 e 78 anos, para os quais foram oferecidas aulas de piano ao longo de 12 meses, uma hora por semana. Os participantes foram testados em 0, 6 e 12 meses e após o treinamento (18 meses) em suas aptidões cognitivas e perceptivo-musicais por meio de neuroimagem funcional, estrutural e amostragem de sangue. Concluiu-se que o treinamento de piano em iniciantes musicais idosos pode induzir plasticidade cerebral funcional e morfológica no córtex auditivo e pré-frontal, no hipocampo e em outras áreas cerebrais. Da mesma forma, a prática musical pode afetar a substância branca e a conectividade funcional, proporcionando simultâneas vantagens cognitivas e sensório-motoras na idade avançada (16).

Na mesma ótica, os resultados do estudo de Slumming et al. (2002), apresentam benefícios contundentes da prática musical para a plasticidade cerebral. O estudo utilizou morfometria baseada em Voxel em 3D, um método objetivo de analisar imagens de ressonância magnética do cérebro. Foram analisadas as diferenças regionais específicas na densidade da substância cinzenta e branca em músicos profissionais de orquestra, os quais iniciaram o treinamento musical em média aos 9,6 anos de idade e tocavam aproximadamente 33 horas semanais na orquestra. Embora a análise não tenha revelado diferenças estatisticamente significativas relacionadas à substância branca entre os músicos e o grupo controle, no grupo de não músicos foram verificadas reduções significativas do volume relacionadas à idade nos hemisférios cerebrais, no córtex pré-frontal dorsolateral em ambos os hemisférios, bem como na densidade de substância cinzenta no giro frontal inferior esquerdo nos participantes do grupo controle, o que não foi observado no grupo dos músicos. Entre os músicos de orquestra, em contrapartida, houve expansão da densidade e volume da substância cinzenta na área de Broca - importante substrato neuroanatômico de fundamental importância para a linguagem falada e habilidades relevantes para a execução musical como a localização visuoespacial e audioespacial – localizada no giro frontal inferior esquerdo. Dessa forma, os autores propõem que a performance musical é capaz de atenuar a atrofia cerebral relacionada à idade, por se tratar de uma atividade ambientalmente enriquecedora (35).

Em relação ao declínio estrutural do cérebro em decorrência da idade, Altenmüller & Schlaug (2012) afirmam que músicos que praticam música após os 60 anos mostram menos ou nenhuma degeneração da densidade da substância cinzenta no córtex frontal. Infere-se, portanto, que praticar um instrumento musical parece prevenir a degeneração do córtex frontal e das funções executivas (36).

A prática musical, ou seja, o treinamento e a performance musical são atividades que contribuem para a reserva cognitiva, assim como a capacidade ou plasticidade de reserva musical não utilizada, entendida como a parte não utilizada da musicalidade fundamental e habilidade musical geral, que todos os humanos possuem em maior ou menor grau e que pode ser ativada e desenvolvida. Nesse aspecto, o envolvimento em atividades cognitivamente estimulantes ao longo da vida ajuda a reduzir o impacto de doenças cerebrais e do envelhecimento cognitivo (60) (30).

A reserva cognitiva está relacionada à discrepância entre o grau de patologia cerebral de um indivíduo (ou declínio natural relacionado à idade) e os déficits funcionais e cognitivos observados (30). O conceito de reserva cognitiva está associado ao uso que o cérebro faz de abordagens pré-existentes de processamento cognitivo ou do recrutamento de abordagens compensatórias para tentar lidar ativamente com supostos danos cerebrais. Dessa forma, um alto grau de reserva cognitiva permitiria que indivíduos pudessem lidar melhor com danos cerebrais ou declínios cerebrais naturais (79).

Stern (2002) apresenta modelos ativos e passivos de reserva cognitiva. Nos modelos ativos, a reserva gira em torno das diferenças de como a tarefa é processada. Assim, quanto maior a capacidade de reserva do cérebro, maior o fator de proteção. Uma menor capacidade de reserva do cérebro pode significar vulnerabilidade. Nos modelos passivos, a reserva é definida em termos da quantidade de danos que podem ser sofridos antes de atingirem um limite para expressão clínica. O modelo passivo gira em torno da construção da capacidade de reserva do cérebro, inclui o tamanho do cérebro ou a contagem de sinapses. O modelo passivo reconhece que existem diferenças individuais na capacidade de reserva do cérebro. Assim, quanto maior a capacidade de reserva, maior o fator de proteção, enquanto menor capacidade de reserva pode conferir vulnerabilidade. Em indivíduos com maior reserva, a perda de

sinapse deve ser mais grave antes de os sintomas clínicos aparecerem e os sintomas aparecem mais tardiamente. Por outro lado, os sintomas apareceriam mais cedo em um paciente com menor reserva. No modelo passivo, a capacidade de reserva estaria vinculada a sinapses adicionais ou ao aumento do número de redes neuronais, o que pode conferir capacidade de uso de paradigmas alternativos na abordagem de um determinado problema quando a abordagem padrão não é mais operacional. Entretanto, a hipótese da reserva cognitiva pressupõe que os indivíduos que possuam cérebros com reserva cognitiva processem tarefas de uma forma mais eficiente, em vez de presumir que os cérebros desses indivíduos sejam anatomicamente diferentes daqueles com menos reserva ou que possuam maior quantidade de sinapses, por exemplo. No modelo passivo, a capacidade de reserva normalmente engloba os indivíduos saudáveis e aqueles com danos cerebrais, e se reflete na modulação das mesmas redes cerebrais. Em síntese, um indivíduo que usa uma rede cerebral de forma mais eficiente, ou é mais capaz de chamar redes cerebrais alternativas ou estratégias cognitivas em resposta ao aumento da demanda pode ter mais reserva cognitiva. A definição abrange duas possibilidades, diferenças no recrutamento da mesma rede e capacidade diferencial de recrutar redes alternativas (79).

De acordo com Stern (2002), há evidências de que atividades de estimulação cognitiva podem diminuir a taxa de atrofia hipocampal no envelhecimento normal (79). As atividades cognitivas, além dos exercícios físicos, aliados ao tratamento de condições médicas gerais, podem retardar a atrofia no hipocampo relacionada à idade, podendo, inclusive, expandir o seu tamanho. Em virtude da prática musical, que induz plasticidade funcional e estrutural na parte anterior e média do hipocampo, percebe-se o aumento da proficiência em tarefas musicais, na memória de trabalho e na inteligência fluida (16).

Estudos epidemiológicos têm sugerido que a exposição a atividades educativas, estilo de vida com comportamentos cognitivamente estimulantes podem contribuir grandemente para uma reserva cognitiva contra a idade ou patologias relacionadas à demência. Ressalta-se que essa reserva tem origens múltiplas e podem ser mudadas ao longo da vida em virtude de comportamentos e exposições. Tais reservas cognitivas podem ser alcançadas ainda na velhice (79).

A meta-análise realizada por Román-Caballero et al. (2018), exemplifica o impacto que a prática musical pode exercer no envelhecimento cognitivo e cerebral de indivíduos idosos. O objetivo do estudo foi realizar uma revisão sistemática e meta-análise a fim de compilar os dados mais relevantes e trazer as primeiras conclusões sobre o impacto da prática musical no envelhecimento cognitivo e cerebral e retratar os benefícios cognitivos da prática musical para indivíduos idosos. A revisão selecionou 13 estudos: 9 estudos correlacionais envolvendo músicos mais velhos e não músicos e 4 estudos experimentais envolvendo programas de treinamento musical de curta duração. A amostra total dos artigos pesquisados foi de 1.530 sujeitos participantes, com 59 anos ou mais, sem comprometimento cognitivo ou dano cerebral, com proporção semelhante de gêneros, escolaridade, renda, atividade física e social (30).

A meta-análise em questão revelou que, em relação aos resultados dos estudos correlacionais, após o programa de treinamento musical houve uma evolução em todas as funções gerais de domínio básico (velocidade de processamento, inibição e atenção), sendo o maior efeito observado na inibição. Progressos adicionais foram observados em funções gerais de domínio complexo, tais como: memória de trabalho verbal e visual, nomeação, fluência verbal, raciocínio, flexibilidade, capacidade visuoespacial e visuoconstrução, além de benefícios na memória episódica e linguagem. As medidas de fluência verbal, nomeação e flexibilidade apresentaram efeito médio significativo, enquanto a memória verbal e visuoconstrução apresentaram baixo nível. Funções como fluência fonológica, memória visual e memória operacional verbal foram associadas com a idade de início da atividade, apresentando melhor desempenho com a idade de início mais precoce. Variáveis como intensidade da atividade, tipo de treinamento e a manutenção da prática na velhice foram associadas aos possíveis benefícios cognitivos apresentados. Os autores pontuam ainda que tocar um instrumento musical geralmente apresenta mais vantagem para os adultos mais velhos do que cantar, principalmente no que se refere à velocidade de processamento (30).

Essa meta-análise mostrou ainda, que a prática musical ao longo da vida foi associada a um menor risco de demência e comprometimento cognitivo leve. Os ganhos cognitivos foram acompanhados por mudanças estruturais no cérebro, como o aumento no volume de substância cinzenta em regiões

perceptuais, somatossensoriais e relacionadas à área motora, bem como em áreas de funções de alto nível (30). Em relação aos benefícios estruturais do cérebro, os músicos apresentaram aumento na substância branca, no corpo caloso e no fascículo arqueado, entre outros. Foram observadas ainda, melhorias nas habilidades auditivas: discriminação de frequência, duração, intervalos e modulações de amplitude e percepção da fala, resultando em um processamento auditivo mais robusto e eficiente de estímulos musicais e de fala (30).

Os resultados dos estudos experimentais da meta-análise, com 126 participantes com idades entre 60 e 85 anos, baseados em um programa de treinamento no ensino de piano e linguagem musical, com variações na duração total do programa entre 4 e 6 meses revelaram que, de forma geral, foram encontrados efeitos positivos sobre a maioria das funções cognitivas (exceto sobre a memória operacional verbal). Os estudos revelaram ainda, que a atenção é uma função com influência transversal nos demais processos cognitivos, uma vez que ela pode contribuir para benefícios no processamento auditivo, habilidade visuoespacial e memória operacional em músicos, entre outras funções (30). Observou-se ainda que atividades musicais intensas durante a infância podem aumentar a probabilidade de um envelhecimento neurocognitivo mais saudável e reduzir o risco de doenças neurodegenerativas. Tais dados sugerem que o treinamento musical em adultos mais velhos pode levar a melhorias nas funções cognitivas, especialmente em funções superiores do córtex cerebral, como o raciocínio e, provavelmente, a flexibilidade cognitiva (30).

Em síntese, os resultados da meta-análise mostraram benefícios cognitivos e cerebrais da prática musical, tanto em funções específicas de domínio (percepção auditiva) quanto em outras funções de domínio geral, como nomeação, memória episódica ou funções executivas. A maior parte das melhorias observadas ocorreu em funções cognitivas sensíveis à idade, no sentido de proteger ou reduzir o declínio, além de impulsionar outros domínios que não diminuem com o envelhecimento. A presença de um processamento mais eficiente nos músicos, aliado a uma maior capacidade inibitória pode estar na raiz dos demais benefícios observados. Os efeitos neurocognitivos da prática musical precoce em idosos podem ser permanentes e puderam ser observados mesmo quando essa prática havia sido interrompida 25 anos antes

(30). Constatou-se que os processos de plasticidade são mantidos no cérebro de indivíduos adultos e idosos e a atividade musical pode continuar a estimular essas mudanças além da infância, mesmo com experiências de curto prazo. As melhorias foram muito mais evidentes nos estudos correlacionais, visto que tais estudos exploraram idosos com ampla prática musical e início precoce. Por outro lado, a continuidade desses efeitos ainda não está clara, visto que algumas melhorias não foram mantidas nas avaliações de acompanhamento (30).

Além dos resultados já apresentados, há evidências de que o treinamento musical é capaz de produzir efeitos duradouros na plasticidade neural em relação ao processamento auditivo. Idosos podem ser beneficiados com a prática musical, na medida em que ela gera o aguçamento da atenção auditiva e melhora a discriminação auditiva em ambientes ruidosos, problemas recorrentes no envelhecimento normal (16).

Nesse sentido, o estudo realizado por White-Schwoch (2013), ao considerar que os déficits relacionados à idade podem afetar a codificação neural de sons que apresentam mudanças rápidas como consoante-vogal, examinou o tempo neural, com a utilização de eletrodos no couro cabeludo, que mediam as respostas auditivas do tronco encefálico a um som de fala sintetizado, em resposta às transições consoante-vogal em um grupo de idosos expostos ao treinamento musical no início da vida, mas que não tocavam um instrumento há décadas. Os resultados da pesquisa revelaram que a quantidade de 4 a 14 anos de treinamento musical no início da vida está associada a um tempo neural mais rápido em resposta à fala mesmo após o término do treinamento (> 40 anos). Essas experiências podem interagir ao longo do tempo para sustentar o processamento neural aguçado nos núcleos auditivos centrais até a idade avançada. Nesse caso, houve um aprimoramento neural vinculado a uma quantidade moderada de treinamento musical mesmo após a interrupção da prática. Além disso, estudos evidenciam que experiências de treinamento precoce podem influenciar a função cognitiva subsequente de adultos idosos, fornecendo mais mecanismos cognitivos como memória e atenção no entendimento da fala em ambientes ruidosos quando comparados a idosos sem treinamento musical anterior (31).

Destaca-se ainda a possibilidade de que a prática musical instrumental possa contribuir para o aumento da reserva cognitiva por meio da liberação de

recursos perceptivos, atencionais e cognitivos, que poderiam em seguida, dedicar-se ao processamento de estímulos auditivos (80). Além disso, a reserva cognitiva aumentada pode permitir estratégias mais eficazes e flexíveis durante tarefas perceptuais auditivas e cognitivas. A prática continuada de um instrumento musical também pode resultar em maior eficiência e capacidade neural, maior habilidade para compensação através do recrutamento de regiões cerebrais adicionais durante o processamento auditivo. Dessa forma, o benefício que os músicos mais velhos têm em detectar uma lacuna ou harmônico mal sintonizado pode ser devido ao aumento do processamento subcortical ou a estratégias cognitivas aprimoradas (80).

Em síntese, o envelhecimento normal resulta no gradual declínio de funções fisiológicas e cognitivas. Embora esse declínio seja inevitável, o cérebro permanece plástico “do berço ao túmulo”, havendo a perspectiva de evolução ao longo da vida por meio de aprendizagens e intervenções e nessa perspectiva há fortes evidências de que o treinamento musical desempenha um aspecto preponderante (16).

#### **2.4.1. Implicações do Treinamento Musical no Processamento Auditivo Central (PAC)**

O processamento auditivo central (PAC) refere-se a uma série de processos relacionados à detecção e percepção aos sons recebidos, que envolve predominantemente as estruturas do Sistema Nervoso Central. Está envolvido em habilidades tais como: reconhecer e localizar sons, compartilhar atenção entre estímulos diferentes, selecionar estímulo auditivo na presença de ruído de fundo, diferenciar a variação de freqüências, a intensidade, a duração do som, além da percepção de diferenças e semelhanças entre sons verbais. Relaciona-se ainda ao modo como os indivíduos analisam a informação acústica que recebem por meio do sentido da audição e agem no desenvolvimento da linguagem e habilidades acadêmicas, bem como no processo de comunicação (81) (82).

Estudos como o de Zendel & Alain (2012) retratam os benefícios da prática musical para o PAC. A referida pesquisa mediu as habilidades de processamento auditivo em músicos ao longo da vida (n: 74) e não músicos (n: 89), com idade entre 18 e 91 anos, submetidos a quatro testes de audição, cujas tarefas diminuem com a idade: limiares de tons puros, limiares de

detecção de harmônicos mal sintonizados, limiares de detecção de lacunas (gap-detection) e o teste QuickSIN, que mensura a capacidade dos ouvintes ao processar a fala no ruído. Os resultados do estudo revelaram que os músicos demonstraram menor declínio relacionado à idade em algumas tarefas auditivas (ou seja, detecção de gap e fala no ruído) e tiveram uma vantagem em outras (detecção de harmônicos mal sintonizados). Os músicos experimentam menos declínio relacionado à idade no processamento auditivo central. O estudo indica que ser um músico pode contribuir para o aprimoramento da audição na velhice, o que pode levar a postergar mudanças no processamento auditivo central em decorrência da idade. Consequentemente, essa descoberta sugere que a prática instrumental ao longo da vida pode concorrer para a redução do declínio na percepção da fala, frequentemente observada com o avanço da idade (80).

Além do estudo mencionado, estudos recentes evidenciam que a prática e o treinamento musical podem aprimorar e influenciar positivamente as habilidades de processamento auditivo (81). A pesquisa de Alves et. al (2018), com o objetivo de verificar a influência da música no PAC revelou que a prática musical influencia positivamente as habilidades do PAC. Apesar de não haver consenso em relação ao tempo de exposição a atividades musicais, há evidências da verificação de melhores resultados quanto maior for a experiência musical e o contato prático com a música (82).

Os efeitos da música e do treinamento musical no processamento auditivo de adultos revelam que músicos possuem desempenho superior no processamento auditivo no que se refere a habilidades de ordenação temporal, reconhecimento de fala no ruído e resolução temporal, quando comparado ao desempenho de não músicos. Essa superioridade também é verificada na memória visual, fonológica e executiva. Dessa forma, infere-se que a experiência musical é capaz de aprimorar habilidades específicas de processamento auditivo central, independentemente da idade, possibilitando a discriminação de sinais acústicos com espectro complexo, além de melhorias no processamento cognitivo em curto prazo e no reconhecimento de fala no ruído (81).

## 2.5. O RITMO MUSICAL

O ritmo é uma estrutura central e componente indispensável da música (09) (83). Além disso, é fundamental na vida do homem e na natureza. Pode ser considerado o elemento principal da música e fundamental para a vida, tendo em vista que o corpo humano opera com base em padrões rítmicos, passíveis de serem modificados por ritmos externos (84). O desempenho humano pode ser avaliado dentro de um quadro rítmico. O corpo humano possui ritmos naturais ou endógenos, tais como a batida do coração, a circulação sanguínea, a respiração, a locomoção, o piscar dos olhos, as secreções de hormônios, a menstruação feminina, além de muitos outros ciclos (85).

O ritmo musical é encontrado em todas as culturas conhecidas e a tendência de se mover em sincronia com a pulsação ou perceber um ritmo regular surge sem o treinamento explícito, constituindo-se uma habilidade humana difundida (13) (05). Tal fato pode ser observado em crianças, que a partir de dois ou três anos de idade são capazes de bater palmas no ritmo da música. Isso mostra o quão capazes somos de responder fisicamente à percepção rítmica da música (86) (87)

### 2.5.1. O Ritmo Musical e Conceitos Correlacionados

O termo ritmo é utilizado em contextos diversos e possui nuances de significados, o que reflete a complexidade inerente ao seu conceito. Todavia, podemos afirmar que a ideia de ritmo se vincula ao tempo e ao movimento. O ritmo está relacionado à organização temporal dos sons musicais (86).

A palavra ritmo tem origem no grego “rhythmus” e significa “aquilo que se move”, de *reo*, que significa fluir (88) (89). De maneira ampla, o ritmo refere-se à maneira como um evento flui no tempo e pode ser definido como relações intervalares de tempo, com acentos que ocorrem em intervalos regulares (13) (42) (14). O termo ritmo às vezes se confunde com a métrica e com tempo, entretanto, o tempo é específico da duração e está relacionado a um padrão que dará um valor cronométrico a relações numéricas (por exemplo, duração de vibração, tempo necessário aos intervalos disjuntos), porém não é fixo, mas

suscetível de variabilidade. Enquanto tempo está relacionado à dimensão em que os eventos ocorrem, ritmo relaciona-se à maneira como os eventos se organizam (89).

Apesar da complexidade que envolve o termo ritmo, alguns conceitos podem ser importantes para nortear o entendimento da questão. Englobam o ritmo a pulsação, a métrica e o andamento. Cameron & Grahan (2016) (13); Jones, (2016) (42), Grahan (2012) (14), Kotz, Ravignani & Fitch (2018) (83) apresentam as definições a seguir:

1) Pulso ou beat: a audição de um ritmo musical dá origem à sensação de pulso, também chamado de beat (14), que se refere a uma série de eventos psicológicos regularmente recorrentes que surgem em resposta a um ritmo musical (13), ou seja, “um pulso periódico percebido que os ouvintes usam para guiar seus movimentos e os intérpretes usam para coordenar suas ações” (87);

2) Métrica: organização temporal de beats, ou seja, a organização hierárquica de beats fortes e fracos relacionadas a regularidades de temporização ou “padrão hierárquico de beats” (13) (87). De acordo com Kotz, Ravignani & Fitch (2018), a métrica é o elemento final do ritmo musical e envolve agrupamentos de nível superior de eventos únicos (pulsões) em uma estrutura hierárquica. Dessa forma, envolve agrupamentos de 2, 3 ou 4 eventos, tais como a batida 2/4, típica do samba brasileiro, a batida 3/4, própria do tempo de valsa e a batida 4/4, mais comuns. A primeira pulsação de um agrupamento é sempre forte (83) (14);

3) Andamento: está relacionado ao intervalo de tempo entre as pulsações. Um período de pulsações mais curtas leva a um tempo mais rápido (14). O andamento exprime a velocidade que se quer imprimir à execução de um trecho musical. Os andamentos lentos comportam de 40 a 72 batidas por minuto (BPM), os andamentos médios possuem de 72 a 120 BPM, enquanto os andamentos rápidos oscilam de 120 a 208 BPM (90).

Embora uma sensação da pulsação/beat seja decorrente da resposta a um estímulo rítmico, a percepção do beat é uma resposta psicológica (14). De acordo com Zendel et al, (2011), a percepção do metro é um fenômeno subjetivo que ocorre quando os ouvintes inferem a percepção de uma batida de um evento rítmico e o organizam subjetivamente em uma hierarquia de batidas fortes e fracas. Assim, mesmo diante de sons isócronos idênticos como os

observados no metrônomo, os ouvintes podem estabelecer uma estrutura métrica subjetiva (91). A Figura 1 abaixo, exemplifica os conceitos relacionados ao ritmo musical.

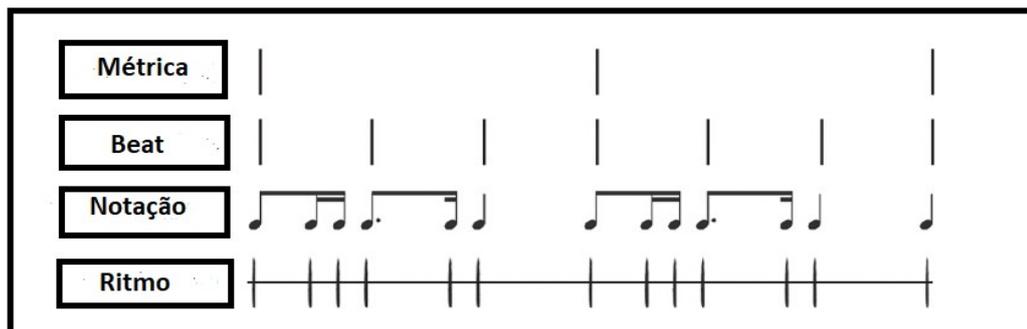


Figura 1. Representação de ritmo, beat e métrica. O ritmo é representado pela sequência de eventos (linhas verticais na linha inferior). Os inícios são separados por intervalos de tempo. O beat é representado pela sequência de posições de tempo regulares (linhas verticais na terceira linha de baixo para cima). A métrica é a organização hierárquica de pulsações fortes e fracas (as pulsações fortes são representadas pelas linhas verticais na linha superior). (Adaptado Cameron & Grahn (2016)).

### 2.5.2. O Ritmo Musical e Processos de Percepção

A música é inerente a toda cultura humana e toda cultura apresenta uma forma de música na qual se observa o beat/pulsação. Os seres humanos são capazes de perceber beats musicais em intervalo aproximado de 250 a 2000 ms. Os intervalos entre 400 e 1200 ms geram sensação de pulsação mais forte e o ser humano demonstra preferência por períodos de pulsação em torno de 600 ms, aproximadamente 100 BPM. Essa medida é similar ao movimento em que as pessoas caminham (92) (86) (87).

A percepção do beat musical abrange a percepção de sequências periódicas de pulso. A percepção do pulso geralmente é expressa por meio de movimentos rítmicos em sincronia com o pulso, como, por exemplo, o bater dos pés, a dança ou o balançar a cabeça. Em laboratório, a resposta rítmica à música pode ser estudada por meio de batidas do dedo no beat percebido. Tais batidas geralmente são realizadas dentro de algumas dezenas de milissegundos. Isso mostra que o cérebro faz previsões temporais altamente precisas sobre quando ocorrerão as próximas batidas. Nesse sentido, Patel & Iversen (2014), propõem a hipótese ASAP (Simulação de Ação para Previsão Auditiva), segundo a qual, a percepção da batida musical está altamente relacionada a conexões funcionais entre as regiões motoras e auditivas. De

acordo com a hipótese, os sinais neurais partem das regiões de planejamento auditivo para as regiões motoras e fornecem informações sobre o tempo dos eventos auditivos. Tais sinais são capazes de influenciar o tempo do planejamento motor nas regiões motoras. Os sinais retornam das regiões motoras para as auditivas e fornecem um sinal de previsão para as próximas batidas (87).

Em perspectiva semelhante, Huron (2006), acredita que o organismo se prepara para responder a determinados estímulos a partir de influências fornecidas pelo ambiente cultural, manifestadas pela expectativa. Na visão do autor, a tarefa de sincronização requer a geração de expectativas de forma inconsciente com o objetivo biológico de previsão de eventos futuros, que tem como função minimizar o gasto de energia, diminuir os níveis de dispersão e facilitar a atenção. Nesse sentido, nossa experiência de pulsações é mediada por um processo psicológico que é interpretado a partir da percepção. Nesse processo estão envolvidos não apenas elementos puramente musicais, mas também cognitivos (93).

Nessa perspectiva, estudos têm evidenciado que cérebros de recém-nascidos podem detectar uma violação na estrutura da batida de um ritmo auditivo e que a capacidade de detectar batidas em sequências de sons rítmicos é inata, ou seja, o sistema auditivo do recém-nascido é aparentemente sensível a periodicidades e desenvolve expectativas sobre quando um novo ciclo deve ocorrer. Os bebês são capazes de perceber, por exemplo, a estrutura de batidas hierárquicas nos padrões musicais, o pulso regular e o beat (11) (94) (95). Porém, enquanto a percepção do ritmo é frequentemente atribuída a princípios inatos, com base em um processo universal, a percepção da métrica é reconhecida como uma habilidade aprendida, que reflete regras musicais específicas (42).

Resultados de pesquisas que utilizam técnicas de imagem como EEG (Eletroencefalograma) e MEG (Magneto-Encefalografia) revelam que a percepção da métrica requer atenção, ao contrário da percepção da batida. Sugere-se que os ouvintes são sensíveis ao ritmo e sincronizam à batida independentemente da atenção, porém, para níveis mais altos de estrutura, como o métrico, isso não ocorre (13).

### 2.5.3. O Ritmo Musical e a Sincronização

A sincronização de movimentos a estímulos rítmicos previsíveis no tempo é chamada de sincronização sensório-motora - SMS (91). “É uma forma de interação adaptativa com o ambiente” e pode ser definida como “a coordenação temporal de um ritmo motor com ritmo externo” (63).

Um aparelho utilizado para a medição rítmica na música é o metrônomo. Seu papel é auxiliar na manutenção do andamento correto da música. Para o músico, o aparelho funciona como um relógio. O primeiro modelo foi criado por um relojoeiro holandês chamado Dietrick Winkel, em 1812, porém, em 1816, o austríaco Johann Mälzel modificou o objeto e o patenteou. O metrônomo produz a pulsação com duração exata e regular, de acordo com o ajuste que se deseja. Seus valores são medidos em bpm e as marcações podem variar de 40 a 240 BPM (96). A Figura 2, abaixo, ilustra o aparelho.



Figura 2. Metrônomo

Fonte: <https://sitedicasdeviolao.wordpress.com/2020/07/20/como-usar-o-metronomo-dicas-para-todos-os-niveis/>

O metrônomo tem sido utilizado para subsidiar tarefas de toque de dedos. Nesse sentido, o toque de dedo em sincronia com um ritmo externo (metrônomo) geralmente em um computador, tem sido bastante utilizado em pesquisas para investigar temas relacionados à sincronização. Por outro lado, as assincronias produzem dados básicos para os estudos de sincronização sensório-motora que utilizam o toque como resposta (97).

De acordo com Repp & Su (2013), as assincronias ou erros de sincronização podem ser definidos como a diferença entre o tempo de um toque e o tempo de início do evento correspondente ao ritmo externo (97). Gámez et al. (2018), apresentam dois mecanismos principais importantes na determinação da sincronização sensório-motora: a antecipação e a adaptação

temporal. Na antecipação temporal os mecanismos neuronais extraem informações relativas à regularidade dos padrões rítmicos com o objetivo de planejar e coordenar os movimentos. Na adaptação temporal, em contraste, ocorre um processo reativo em que as informações retrospectivas são utilizadas para se gerar as correções dos erros, o que permite que o indivíduo responda às variações de tempo de estímulo e ajustem os tempos de movimento (98).

Em relação à antecipação, trata-se de uma característica importante que reflete a interação entre pistas acústicas e uma organização cognitiva de nível superior (99). Nesse aspecto, os humanos batem antes dos cliques do metrônomo em algumas dezenas de milissegundos. Essa tendência antecipatória é considerada única para humanos e algumas espécies de animais, especificamente aqueles com capacidade de aprendizagem vocal, tais como papagaios (99).

Um fenômeno intrinsecamente envolvido na sincronização rítmica é o de pareamento rítmico, que ocorre a partir da união da atenção a determinado estímulo rítmico, geralmente expresso por meio de sincronização sensório-motora (100). Trata-se da capacidade de sincronizar movimentos de diferentes partes corporais para regular a pulsação ou a batida musical. Pode ser definido como “um processo de bloqueio temporal no qual o movimento de um sistema ou a frequência do sinal arrasta a frequência de outro sistema” (09). O “*rhythm entrainment*” ou pareamento rítmico recruta, por meio da sincronização de ritmos corporais internos com a música, diferentes níveis do organismo, tais como o nível motor, o fisiológico autonômico, o nível de atenção e até mesmo o nível social (101). Pode ser observado em muitas circunstâncias, na natureza e em nossa vida diária, em contextos biológicos e sociais como, por exemplo, a sincronização das batidas de palmas em uma plateia. Outro exemplo clássico do pareamento rítmico é o desejo de mover-se ao ouvir determinado ritmo musical (102).

De acordo com Grahan (2012), há indícios de que populações de neurônios podem sincronizar-se a diferentes níveis de hierarquia métrica, ou seja, um estímulo rítmico pode arrastar grupamentos neuronais, e esses neurônios continuam respondendo no intervalo arrastado após a interrupção do estímulo, exibindo uma memória do intervalo (14). Para a autora, a capacidade de pareamento rítmico para a música não parece ser totalmente desenvolvida

até a infância tardia. Além disso, abordagens de modelo de processamento do pareamento rítmico postulam que o pareamento de oscilações neurais para estímulos rítmicos seja a chave para dar origem ao nosso senso psicológico de ritmo e métrica (14). Porém, a capacidade de mover-se ritmicamente de forma métrica em relação à música parece ser uma habilidade única da espécie humana (103).

O pareamento rítmico permite sincronização em resposta a uma pulsação durante uma execução musical em conjunto ou dança, por exemplo. Tal habilidade é essencial para a cognição musical, uma vez que os indivíduos deverão coordenar os movimentos corporais com uma temporalidade externa e permanecerem flexíveis a mudanças na batida musical. Destaca-se que os seres humanos são extremamente sensíveis às regularidades auditivas e apresentam capacidade de sintonia com batidas auditivas em um intervalo de 250-2000 ms (98). Além disso, o desempenho de sincronização sensório-motora apresenta maior precisão com um metrônomo auditivo do que a sincronização com um metrônomo visual com as mesmas características temporais (98).

O *rhythm entrainment* (pareamento rítmico) foi inspirado em uma experiência realizada no século XVII por Huygens (o inventor do relógio de pêndulo), descrita como “a simpatia dos relógios”. Ao fazer um experimento com dois relógios de pêndulo, Huygens notou que, quando colocados sob uma superfície comum, funcionando com pêndulos de forma não sincronizados, eram capazes de alcançar a sincronia entre si em um período de cerca de meia hora. Esse fenômeno pode ser observado em muitas circunstâncias, na natureza e em nossa vida diária, em contextos biológicos e sociais como, por exemplo, a sincronização das batidas de palmas em uma platéia. Outro exemplo clássico desse pareamento rítmico é o desejo de se mover ao ouvir determinado ritmo musical (102).

O pareamento rítmico regular ou isócrono é uma peculiaridade do ritmo musical que provavelmente foi impulsionada pela necessidade de coerência e previsibilidade da música ou dança em grupo (83). Assim, para que haja música em grupo são necessários alguns subcomponentes da cognição do ritmo: 1) extração da batida – envolve apenas o processamento auditivo; 2) periodicidade motora – relacionada a um controle motor complexo; 3)

pareamento (*entrainment*) audiomotor – que requer a sincronização motora sensorial entre o batimento percebido e o movimento a ser produzido (83).

Na ótica de Kotz, Ravnani & Fitch (2018) existem, ao menos, quatro componentes que podem fundamentar o comportamento rítmico humano, os quais incluem a geração periódica do padrão motor, a extração de batidas de padrões auditivos complexos, o pareamento da produção motora para a batida e a métrica. Para os autores a noção de periodicidade está no cerne da ritmicidade. A periodicidade refere-se a uma recorrência regular de eventos com base em taxas de repetição (frequência) e um tempo de início específico dentro de um ciclo (fase). Assim, a periodicidade pode ser modelada por osciladores caracterizados por frequência e fase. No pareamento rítmico, por exemplo, dois ou mais osciladores podem ser sincronizados para que a frequência e fase coincidam de forma separada ou conjuntamente (83).

A isocronicidade, apesar de não ser requisito fundamental do ritmo ou pareamento, refere-se a um oscilador estritamente periódico em que dois osciladores, tais como duas pessoas correndo lado a lado acelerando ou desacelerando em unísono, podem variar em frequência, entretanto, permanecem sincronizados. Dessa forma, existem diferenças entre pareamento de osciladores quase periódicos e estritamente isocrônicos, como é o caso do metrônomo (83).

O pareamento rítmico pode ocorrer de forma intencional ou espontânea. Em estudo que investigou o pareamento de forma intencional, Valdesolo, Ouyang & DeSteno (2010), citado por Repp & Su (2013) (97), os participantes que balançavam cadeiras em sincronia lado a lado apresentaram melhor desempenho em uma tarefa de julgamento de velocidade perceptiva e em uma tarefa de habilidade motora quando comparados aos que participantes que realizavam o balanço das cadeiras de costas uns para os outros. Na mesma ótica, o estudo de Sofianids et al. (2012) demonstrou o pareamento espontâneo por meio de oscilações corporais. Os participantes foram solicitados a balançar ritmicamente de um lado para o outro, de olhos fechados e manter o contato leve da ponta dos dedos. Observou-se uma coordenação espontânea em fase. Por outro lado, quando um metrônomo foi introduzido, apenas dançarinos experientes tiveram capacidade de melhorar a coordenação por meio do contato tátil, quando comparados a uma condição sem contato tátil (104).

Instrumentistas musicais apresentam pareamento rítmico quando tocam em grupo. Os resultados do estudo de Goebel & Palmer (2009), com pianistas tocando em dueto, um tocando a melodia e outro o acompanhamento, mostraram que, independentemente da função exercida, ambos foram capazes de sincronizar um ao outro quando receberam *feedback* auditivo completo. Quando o *feedback* auditivo foi reduzido, os movimentos da cabeça foram mais fortemente sincronizados, o que indicou maior papel da informação visual diante da diminuição da informação auditiva. O estudo sugere que tocar em conjunto é um excelente meio de testar a sincronização sensório-motora humana (105).

#### **2.5.4. Déficits rítmicos em adultos idosos e os potenciais benefícios do treinamento musical na habilidade rítmica.**

Embora aparentemente a capacidade de mover-se ritmicamente de forma métrica em relação à música seja uma habilidade única da espécie humana (103), observa-se que, enquanto alguns indivíduos conseguem sincronizar-se ao ritmo musical, seja tocando, dançando ou batendo palmas com uma batida, outros parecem não ter “senso de ritmo” e não conseguem detectar ou sincronizar com uma batida rítmica (106). Estudo realizado por Phillips-Silver et al. (2011), exemplifica o que os autores chamam de “surdez para batida”: o caso de um estudante universitário, que apresentou uma dificuldade notável de sincronização. O estudo revelou que o sujeito (Mathieu) não foi capaz de atingir a sincronização a partir de uma música, porém, realizou uma sincronização quase normal com um pulso fornecido por um metrônomo auditivo. Segundo os autores, esta pode ser considerada uma nova forma de amusia congênita, que afeta o pareamento para a música. Pacientes com doença de Parkinson também apresentam déficits rítmicos decorrentes da perda da capacidade de produzir e perceber alterações periódicas em decorrência de danos aos núcleos da base (95).

Entretanto, apesar da existência de eventuais barreiras que possam afetar a capacidade rítmica, as habilidades advindas do treinamento musical podem ser preservadas até a idade avançada, sendo suscetíveis de promover benefícios relativos à experiência cumulativa, cuja abrangência alcança além dos aspectos cognitivos, os domínios de desempenho motor (37). Dessa forma, apesar da existência de limitações rítmicas exibidas por portadores de amusia,

que atinge cerca de 4% da população mundial, as quais se manifestam como consequência de doenças ou danos cerebrais causados por lesão (amusia adquirida) ou estão presentes desde o nascimento e podem ocorrer como resultado de fatores hereditários (amusia congênita), cujo transtorno pode atingir além de questões relacionadas ao tom, déficits na percepção de características rítmicas (107) (108), indivíduos idosos podem apresentar déficits rítmicos não advindos da amusia.

Alguns estudos têm abordado a questão da atividade rítmico-musical desse público etário (37) (38) e os resultados de tais pesquisas têm demonstrado que a habilidade rítmica é afetada negativamente pelo envelhecimento, sendo a capacidade de sincronização rítmica ligeiramente reduzida na velhice, na ausência do treinamento musical (38). Após os 60 anos, principalmente erros como o de alongamento da duração tendem a aumentar acentuadamente (37).

Adicionalmente, a partir dos 50 anos, indivíduos podem apresentar problemas relacionados à identificação e ao reconhecimento de sons, independentemente da perda de audição ou deficiência patológica em reconhecimento de eventos auditivos. Pode então, ocorrer uma desaceleração generalizada da percepção e de processos cognitivos relacionados à música, assim como a velocidade do movimento e as habilidades rítmicas podem tornar-se críticas (37). Dessa forma, indivíduos mais velhos estão sujeitos a produzir erros significativamente maiores em tarefas de sincronização quando comparados a indivíduos mais jovens (37).

Tal afirmação pode ser ilustrada em estudo experimental que comparou indivíduos com idades de 28 a 44 anos e idosos de 64 a 75 anos, e hipotetizou que a habilidade rítmica de idosos é reduzida em relação aos adultos mais jovens e que tal fato gera perda na acurácia da execução rítmica. No estudo Iannarilli et al. (2021), objetivaram examinar o declínio da habilidade rítmica em idosos e verificar como essa habilidade é afetada pela complexidade crescente do ritmo e da modalidade de reprodução motora. Foram utilizados três padrões rítmicos nos testes, que incluíram dois compassos simples (4/4) e um composto (12/08) a 80 BPM. Três tarefas motoras foram empregadas: 1) o *finger-tapping*, no qual os participantes realizavam uma tarefa de *tapping* utilizando a superfície de uma mesa e alternavam os dedos indicadores direito e esquerdo, de forma consecutiva; 2) batidas com os pés, nas quais os

participantes reproduziam os padrões rítmicos alternando os pés direito e esquerdo no chão; 3) caminhada, na qual os participantes se moviam para frente e alternavam eventos consecutivos utilizando os pés direito e esquerdo enquanto reproduziam o ritmo. Os resultados da pesquisa revelaram que houve uma redução dramática na capacidade rítmica com o avanço da idade. Foram observadas deteriorações progressivas do desempenho de ambas as faixas etárias à medida que o ritmo e a complexidade motora da tarefa aumentavam. Enquanto 76% dos indivíduos adultos apresentaram boa capacidade na discriminação de número de eventos rítmicos, apenas 19% dos idosos foram capazes de reproduzir todo o número adequado de eventos dos três padrões rítmicos em cada tarefa de movimento. Além disso, foram observados declínios relacionados à idade na “duração total dos padrões de reprodução e na razão rítmica entre os batimentos” (109).

O declínio apresentado no desempenho dos idosos possivelmente está associado à capacidade reduzida nas funções executivas, especialmente na memória de trabalho, que sofre degeneração com a idade. Além disso, fatores como dificuldade de coordenação, perda de força muscular e redução da mobilidade articular podem ter levado ao comprometimento da capacidade de precisão e reprodução de padrões rítmicos (109).

Além dos aspectos apresentados, destaca-se ainda a possibilidade de que idosos, mesmo sem deficiência auditiva possam apresentar agnosia auditiva, um problema no reconhecimento da batida que se apresenta em duas fases e afeta: 1) a análise das propriedades do evento sonoro que leva à percepção e discriminação; 2) a associação entre a percepção e as representações mentais (37).

Entretanto, mesmo com a presença da deterioração de mecanismos fundamentais para a habilidade rítmica relacionada à idade, o treinamento pode neutralizar a tendência decrescente na capacidade de reprodução rítmica que surge no decorrer dos anos (38). A experiência musical pode melhorar o desempenho rítmico de indivíduos mais velhos e aumentar a eficiência de codificação, análise e processos de manutenção e agrupamento de elementos rítmicos, além do desempenho motor. Dessa forma, a experiência musical é capaz de compensar o efeito do envelhecimento e manter a capacidade de indivíduos mais velhos para reproduzir padrões rítmicos conhecidos e estabelecer a representação mental de novas sequências rítmicas (37). A

capacidade de sincronização com uma pulsação rítmica, por exemplo, pode ser aprimorada no decorrer da existência, em virtude do treinamento (38).

Na mesma perspectiva, ao investigar a sincronização de batidas em crianças, adolescentes, adultos jovens de meia-idade e adultos mais velhos com relação à idade e a experiência musical, os resultados da pesquisa de Thompson et al. (2015) revelaram que a sincronização com a batida se desenvolve no decorrer da idade, apresentando melhoras durante a infância até a idade adulta, porém se verifica uma ligeira redução na velhice. Apesar disso, o pareamento rítmico tende a ser maior para pessoas com experiência musical, podendo persistir em faixas etárias mais avançadas. Nesse aspecto, a pesquisa sugere que a assincronia da batida é menor para indivíduos que apresentam experiência musical, o que revela que músicos tendem a ter redução ou ausência de assincronia de toque. Os motivos que podem levar à dificuldade de pareamento rítmico por parte de idosos, na visão dos autores, podem estar relacionados ao declínio da conectividade funcional entre as áreas auditiva e motora nesses indivíduos. Além disso, a sincronização de batimentos pode ser dependente da integração sincronizada de várias regiões cerebrais, que podem contribuir para o declínio no desempenho do pareamento rítmico. Somam-se a isto, fatores como déficits na coordenação motora, equilíbrio e marcha, lentidão nos movimentos, diminuição da conectividade cerebral, degeneração do sistema neurotransmissor, e perda de disparo síncrono no sistema auditivo (38).

Nesse sentido, Thompson et al. (2015), concluem que, apesar do surgimento da capacidade de execução de batidas rítmicas se apresentar de forma consistente desde a primeira infância, essa aptidão tende a se aprimorar na idade adulta. Entretanto, na velhice, o pareamento rítmico tende a sofrer uma alteração. Assim, a mudança observada em termos de sincronização na idade avançada pode fornecer evidências para o entendimento de que a integração sensório-motora sofre prejuízos com a idade. Dessa forma, acredita-se que o treinamento musical seja fonte de benefícios para funções perceptivo-auditivas, além de cognitivas ao longo da vida, considerando-se que o treinamento musical pressupõe memorização, interação e atenção auditiva ao som e acuidade temporal, habilidades relacionadas à sincronização (38). Adiciona-se a isso, o fato de que o desempenho na sincronização correlaciona-se à sincronia neural auditiva, que pode ser aprimorada com uma quantidade

mínima de treinamento musical na infância, isto é, o treinamento no início da vida pode mudar a função auditiva subcortical trazendo benefícios para o restante dos anos (31). Ressalta-se, entretanto, a necessidade do cuidado em se observar que tais aprimoramentos musicais também podem ser advindos de habilidades pré-existentes, como uma competência rítmica que, conseqüentemente, levaria à busca de treinamento musical (37) (31).

Na visão de Iannarilli et al. (2013), existem fatores que interferem no desempenho da atividade rítmica de idosos, tais como a atenção, a memória e a coordenação motora. Por um lado, pode haver a limitação dos recursos de atenção disponíveis para o processamento temporal em pessoas mais velhas em comparação com adultos jovens, o que tem sido observado em tarefas que incluem atenção motora e cognitiva. Nesse caso, de maneira geral, os idosos cometem erros de sincronização (alongamento) com mais frequência que os adultos, o que sugere que nessa fase da vida, há necessidade de um tempo maior para a codificação e planejamento adequados entre a sincronização e o resultado motor. Em contrapartida, o treinamento musical pode ser capaz de aumentar a reserva cognitiva no processamento de estímulos auditivos ao longo da vida, fazendo com que o idoso musicalmente treinado apresente uma habilidade rítmica semelhante a adultos jovens. Nesse aspecto, o treinamento musical no decorrer do envelhecimento parece ser capaz de neutralizar o esgotamento da reserva cognitiva envolvida no processamento auditivo central (37).

O estudo de Zanto et al. (2019), avaliou habilidades de sincronização rítmica por meio de testes sensório-motores em participantes músicos e não músicos, jovens (idade média de 20 anos) e idosos (idade média de 68 anos). A avaliação mediu, por meio de um tablet móvel, a habilidade rítmica em 27 níveis e manipulou três variáveis paramétricas: o tempo do metrônomo, informações audiovisuais fornecidas e a tarefa rítmica. Os participantes realizaram três tarefas: 1) Na batida - ritmo; 2) Fora do ritmo; 3) Após o ritmo. Na primeira tarefa os participantes deveriam tocar junto com cada estímulo, na segunda, na metade de cada estímulo, e na terceira, deveriam continuar tocando após a interrupção dos estímulos. A pesquisa hipotetizou que o desempenho de sincronização seria maior em músicos, comparado a não músicos e em adultos jovens, comparados a adultos idosos. Os resultados revelaram que os músicos apresentaram melhor desempenho que não músicos

e que os jovens tiveram melhor desempenho que os idosos. Verificou-se que os músicos apresentaram maior habilidade de sincronização que os não músicos. Assim como revelaram pesquisas anteriores, os achados do estudo mostraram que os valores de assincronia média foram menores nos músicos (10 a 15 ms menor que em não músicos). Da mesma forma, o desvio padrão foi menor em músicos (15 ms menor que em não músicos). Enfim, músicos, tanto jovens quanto idosos, produziram um melhor desempenho de sincronização sensório-motora e apresentaram menor assincronia (110).

Na visão de Von Schnehen et al. (2022), os resultados encontrados por Thompson et al. (2015), em que idosos com idade entre 51 e 80 anos quando comparados a adultos mais jovens, entre 18 e 43 anos demonstraram maior assimetria rítmica em comparação com os mais jovens, pode ser, em parte, explicada pelo treinamento musical. No estudo, 32 pessoas possuíam formação musical, porém, essa formação não foi avaliada no grupo de idosos e jovens. Na visão dos autores, a avaliação do treinamento musical em todos os grupos poderia levar à conclusão de que o desempenho superior de jovens (com assincronias de 15 ms antes da batida) e inferior nos idosos (com assincronias de 40 ms antes da batida) teria sido resultado da experiência musical e não da idade (63).

Nessa perspectiva, o melhor desempenho rítmico de idosos treinados musicalmente pode estar relacionado a uma representação mais consistente na memória e uma maior quantidade de recursos atencionais disponíveis para se lidar com a tarefa em andamento, além da preservação das habilidades de coordenação motora, tão necessárias para a reprodução correta de padrões rítmico-musicais (37).

## 2.6. ÁREAS CEREBRAIS ENVOLVIDAS NA ATIVIDADE MUSICAL

A atividade musical aciona uma diversidade de regiões cerebrais. Recordar memórias de longo prazo associadas à música, por exemplo, envolve o sistema de memória episódica, que abrange muitas áreas no córtex temporal medial (por exemplo, hipocampo), parietal (pré-cuneus, giro angular) e frontal (dorsomedial e inferior pré-frontal) (25). O impacto afetivo da música e o prazer hedônico dela derivado estão intimamente ligados à emoção dopaminérgica e à rede de recompensa do cérebro, envolvendo estruturas límbicas e mesolímbicas como o núcleo accumbens, os núcleos da base, amígdala,

hipocampo, córtex cingulado e o córtex orbitofrontal (25). Evidências de estudos com fMRI (Ressonância Magnética Funcional) sugerem que ouvir músicas vocais ativa áreas temporais, por exemplo, o giro temporal superior, o planum temporale e frontal, o giro frontal superior, o córtex pré-motor, bem como áreas subcorticais / límbicas (por exemplo, hipocampo, estriado, córtex orbitofrontal) mais amplamente do que ouvir a fala ou música instrumental (06).

Por outro lado, atividades musicais que incluem leitura de partituras estimulam as regiões parietais, temporais e occipitais, com ativação seletiva da notação musical em áreas posteriores e laterais às ativações para palavras no córtex occipito-temporal esquerdo. Assim como o exercício de leituras de palavras, a leitura de notas musicais envolve áreas visuais e da linguagem referentes à tradução do símbolo para códigos fonológicos (111) (07).

A literatura aponta diferenças na anatomia cerebral de músicos versus não músicos, principalmente nas áreas frontal e temporal. De acordo com Olszewska et al. (2021), pode ocorrer o aumento do volume na massa cinzenta e ou da espessura cortical no córtex auditivo primário em decorrência do treinamento musical, fato que pode estar relacionado a uma melhor percepção do som em músicos. Observa-se ainda, maior volume de substância cinzenta principalmente nas áreas que se relacionam às funções executivas, tais como os giros frontais inferiores (bilateralmente) e giros frontais médio e superior. Tais áreas estão envolvidas na manutenção, monitoramento e recuperação de informações musicais, além do processamento de estruturas musicais. Assim como o hipocampo, o giro lingual também apresenta maior volume de substância cinzenta em músicos, possivelmente em virtude da prática da leitura de partituras musicais. O córtex somatossensorial primário também apresenta maior espessura cortical em músicos, provavelmente em função do contato físico com o instrumento musical. A aprendizagem de um instrumento musical, por sua vez, influencia a forma como a massa cinzenta é organizada em redes cerebrais envolvidas no processamento sensorial, principalmente auditivo, visual e somatossensorial, e na função cognitiva de ordem superior (77) (112).

Sabe-se ainda que músicos com treinamento desde a infância possuem maior área de superfície de substância cinzenta no córtex pré-motor ventral direito. O tamanho desta região correlaciona-se com o desempenho na sincronização auditivo-motora, sugerindo que as mudanças se relacionam com habilidades de ritmo e tempo (13). Nesse sentido, tanto respostas neurais

relacionadas à música quanto tarefas de precisão rítmica podem ser potencializadas quanto mais cedo se inicia a prática musical. Pesquisa desenvolvida por Bailey, Zatorre & Penhune (2014), por exemplo, demonstrou que o treino antes dos 07 anos de idade possibilita maior precisão na tarefa de sincronização do ritmo auditivo, além de melhorar as respostas neurais relacionadas à música, incluindo potenciais auditivos do tronco cerebral, assim como a representação somatossensorial dos dedos e as respostas corticais auditivas (113).

Por outro lado, o cérebro de idosos se beneficia estrutural e funcionalmente da prática musical ao longo da vida. Estudo de neuroimagem recente, que avaliou as características corticais estruturais e funcionais e sua associação com a atividade musical intensiva em músicos profissionais idosos comparou características corticais em músicos idosos, jovens e não músicos idosos. Os resultados do estudo mostraram que, apesar da senescência, os músicos idosos apresentavam uma rede funcional preservada relacionada à musicalidade. Em comparação com os músicos jovens, os idosos apresentaram efeitos da idade em todo o cérebro por meio de uma ativação semelhante, porém mais fraca. A diminuição relacionada à idade na ativação funcional foi verificada de forma proeminente no HG, precuneos, IPL e MFG. Por outro lado, observou-se o aumento dependente da idade na ativação do ITG (114).

De forma geral, a fMRI revelou redução de massa cinzenta generalizada nos idosos, correspondente à atrofia cerebral decorrente da idade. Foram observadas diferenças nas áreas frontais e perirrolândicas, entretanto, assim como os músicos jovens, os idosos apresentaram aumento na girificação do córtex auditivo. Enquanto idosos não músicos ativaram principalmente regiões auditivas, os músicos idosos ativaram uma rede mais ampla, similar aos músicos jovens, embora de forma mais fraca, que envolveu áreas de associação auditiva, áreas motoras primárias e secundárias e regiões pré-frontais. Ou seja, músicos idosos mantiveram características corticais funcionais e estruturais estendidas, demonstrando, assim como os músicos jovens, uma rede de ativação funcional mais ampla em comparação com idosos não músicos (114).

### 2.6.1 Áreas cerebrais envolvidas na atividade rítmico-musical

A capacidade de perceber a batida da música ou o tique-taque regular de um relógio, bem como a capacidade de se mover em resposta a uma batida é uma ação generalizada, mesmo em indivíduos sem treinamento musical prévio e ocorre desde o nascimento (115) (11) (117) (94). Tais habilidades, como o mover-se ritmicamente de forma métrica em relação à música parecem exclusivas da espécie humana (103) e se sustentam por meio de uma rede neuronal complexa, dentre as quais, regiões corticais do cérebro como o córtex pré-motor, área motora suplementar, além de estruturas subcorticais, como os gânglios da base e o cerebelo (115) (11) (05) (116) (14). Lesões focais de estruturas como os gânglios da base, área motora suplementar, córtex pré-motor, cerebelo, córtex pré-frontal, por exemplo, levam a déficits rítmicos/temporais. Embora o bom desempenho na localização/percepção de pulsações rítmicas produza maior atividade cerebral na área motora suplementar esquerda, córtex pré-motor e ínsula esquerda, os déficits na discriminação rítmica podem ser observados na ativação cerebral relativamente maior no giro posterior esquerdo superior e temporal médio, além do córtex pré-motor direito (118).

De acordo com a literatura, o processamento dos aspectos temporais da música está relacionado à participação de áreas auditivas e motoras. Tanto a produção quanto a percepção de padrões rítmicos são capazes de induzir respostas motoras. Nesse sentido, a performance de um instrumento musical ativa áreas corticais e subcorticais envolvidas na temporalidade, sequenciamento, controle e organização espacial do movimento, principalmente o cerebelo, os núcleos da base, área motora suplementar, regiões do córtex motor primário, córtex pré-motor dorsal e ventral e córtex pré-frontal (116) (63).

Miendlarzewska & Trost (2014) afirmam que a integração sensório-motora é aumentada em músicos ao realizarem uma tarefa de sincronização temporal, além de envolver aumentos na interação da rede cerebral, incluindo o córtex pré-motor, córtex parietal posterior e tálamo, que também estão envolvidos em processos atencionais e no planejamento motor (25). Acompanhar a música e o seu desdobramento ao longo do tempo ativa o sistema de atenção e memória de trabalho no córtex pré-frontal inferior e dorsolateral, o córtex cingulado, e o córtex parietal inferior (25).

Estudo de Thaut, Trimarchi & Parsons (2014), sobre percepção musical do ritmo revelou que a atividade rítmica recruta áreas pré-frontais e frontais no hemisfério direito. Áreas do córtex pré-frontal foram particularmente associadas às funções de controle executivo. Os autores afirmam que o processamento da métrica ativou o córtex pré-frontal dorsolateral em áreas associadas à organização sequencial e à memória operacional (09). Ressalta-se ainda, que o acompanhamento da estrutura temporal da música é bilateral, diferentemente da estrutura temporal da fala, que é predominantemente lateralizado à esquerda do cérebro (10).

Na visão de Tranchant & Peretz (2018), ainda não se sabe quais áreas cerebrais geram ou apoiam o mecanismo de sincronização rítmica, entretanto, estudos de neuroimagem funcional indicam ativações em regiões diferentes durante batidas espontâneas versus sincronização. Duas estruturas subcorticais, frequentemente são associadas ao tempo motor: o cerebelo e os gânglios basais. Os estudos evidenciam que, embora os gânglios da base pareçam ser importantes para os dois tipos de tarefas motoras, o cerebelo parece estar envolvido apenas na batida de sincronização (99).

De acordo com Reep & Su (2013), imagens de estudos mostram que mesmo sem executar tarefas motoras, os sistemas motores dos participantes são ativados e as áreas acionadas normalmente se referem aos gânglios da base e cerebelo, além da Área Motora Suplementar (SMA), Área Pré-Motora Suplementar (Pré-SMA) e Córtex Pré-Motor (PMC). O papel dos gânglios da base relaciona-se à geração e previsão do batimento em resposta ao ritmo auditivo (97). Nesse sentido, o estudo de Grahn & Rowe (2010), propõem que a função dos gânglios basais na percepção do ritmo é de previsão das batidas. Dessa forma, quando as previsões são bem sucedidas, ocorre a redução da carga na memória de trabalho (119). Quando a batida é menos específica, como nos ritmos sincopados, os gânglios da base dependem da atenção e de tempo necessário para que o ouvinte estabeleça a percepção da batida/pulsação. Observa-se ainda que entre músicos, quando comparados com não-músicos, há maior conexão interna entre as áreas auditiva (STG – Giro Temporal Superior) e motora (Córtex Pré-Motor e Área Motora Suplementar) tanto ao ouvir ou tocar uma melodia, quanto ao processar perceptivamente a batida de um ritmo auditivo. Ressalta-se que o Córtex Pré-Frontal é mais ativado ao se ouvir um ritmo mais complexo. Destaca-se ainda

que tarefas de sincronização mais complexas geram maior ativação em áreas motoras relacionadas, tais como Área Motora Suplementar (SMA), Área Pré-Motora Suplementar (Pré-SMA), Córtex Pré-Motor (PMC) e cerebelo, além de um acoplamento mais forte na área auditiva (97).

O estudo de Grahn & Rowe (2009) utilizou ressonância magnética funcional no estudo da percepção de batidas rítmicas em músicos e não músicos. Foram utilizados: 1) ritmos com acento de “volume” regulares, em que se marcou externamente a batida com mudanças de volume; 2) ritmos de “duração”, onde se marcava a batida com acentos mais fracos decorrentes de mudanças de duração; 3) ritmos “sem acento” em que era exigido que a batida fosse totalmente gerada internamente. Em todas as condições, os ritmos de batimento comparados com os ritmos de controle sem batimento revelaram atividade do putâmen. A presença de batimento também foi associada à maior conectividade entre o putâmen e a área motora suplementar (SMA), o córtex pré-motor (PMC) e o córtex auditivo. Em contraste, de acordo com o tipo de acento da batida/pulsção verificou-se o acoplamento entre o córtex pré-motor e o auditivo e observou-se maior modulação para músicos do que para não músicos nas três condições. A audição de todos os tipos de ritmo gerou a ativação do SMA, PMC bilateral, STG, ínsula, putâmen, cerebelo e giro frontal médio direito - área de Brodmann (BA) 45/46 - giro supramarginal e giro frontal inferior (BA 44/45). Um efeito principal de batimento foi encontrado mais fortemente no putâmen bilateralmente. Um efeito principal de acentos de volume, por sua vez, foi encontrado mais fortemente no córtex auditivo, mas também no córtex frontal direito (BA 6, 8, 9, 44, 45 e 46), esquerdo (BA 8, 43 e 44) e cerebelo bilateral. Em durações acentuadas, a condição batimento ativou significativamente o putâmen bilateralmente (119).

Krause, Schnitzler & Pollok (2010), realizaram estudo com instrumentistas profissionais (bateristas e pianistas) e não músicos, cujo objetivo foi investigar o efeito da experiência musical em interações de redes funcionais associadas à precisão do tempo na faixa de sub-segundo. A pesquisa avaliou o desempenho da sincronização sensório-motora a partir de uma tarefa de sincronização (toque de dedos) por meio de magnetoencefalografia (MEG). Os resultados da pesquisa revelaram a existência de uma rede funcional cerebelo-tálamo-cortical comum, porém, o padrão de interação funcional diferiu entre os grupos. Nos músicos a

conectividade funcional entre o PMC e tálamo foi aumentada quando comparada a não músicos, provavelmente em virtude do tempo de treinamento musical, que requer precisão temporal, integração e coordenação de informações sensoriais e motoras. O treinamento também gerou modificações anatômicas, além de funcionais nos músicos. A análise neuromagnética revelou uma rede cerebelo-tálamo-cortical em todos os indivíduos compreendendo córtices sensório-motores primários bilaterais (S1/M1), motor suplementar contralateral e pré-motoras (SMA e PMC), tálamo, córtex parietal posterior (PPC), cerebelo ipsilateral e córtex auditivo bilateral. Interações mais fortes PMC-tálamo e PPC-tálamo foram mais evidentes em bateristas em comparação com não-músicos. O estudo aponta o PPC como responsável pelo monitoramento on-line, processamento de informação sensorial referente ao ajuste motor recebendo entrada do cerebelo via tálamo. Assim, o aumento da coerência entre PPC e tálamo, relacionado à experiência musical, pode também auxiliar habilidades de experiência sensório-motora (120).

Visando investigar o processamento e possíveis diferenças no processamento da clareza do pulso (extraído computacionalmente) durante audição musical de música naturalista, o estudo de Burunatet al. (2017), com 18 participantes músicos profissionais e 18 não músicos controles, definiu como regiões alvo de interesse relacionadas ao processamento de clareza de pulso as áreas auditivas, somatomotoras, gânglios basais e cerebelares. Os resultados revelaram uma organização hierárquica de redes funcionais envolvidas no processamento de clareza de pulso. Essas redes expuseram uma rede de percepção de ação funcional reforçada que compreenderam os córtices auditivos, áreas motoras, gânglios basais e cerebelo. As áreas relacionadas à clareza do pulso encontradas foram: 1) Áreas auditivas, como o giro de Heschl, planum temporale e giro temporal superior anterior e posterior; 2) Áreas somatomotoras (M1, S1, S2, SMA, PMC, ROper); 3) Cerebelo. Observou-se que as áreas auditivas foram associadas positivamente com a clareza de pulso, enquanto as áreas somatomotoras e cerebelares mostraram uma associação negativa (121).

O estudo mostrou ainda que a atividade cerebral dos não músicos foi significativamente melhor para a clareza do pulso do que a dos músicos. Considerando que em experimentos de toque os músicos apresentam vantagem em habilidades de sincronização em relação a não músicos, de

acordo com os autores, tais resultados estariam de acordo com a noção de que o modelo interno de clareza de pulso de não músicos depende mais do conteúdo acústico do estímulo do que o de músicos, cujo modelo de clareza de pulso depende mais de processos cognitivos e regras de cima para baixo de metricidade, que facilitam a geração interna aprimorada de batidas (121).

De acordo com Kotz, Ravignani & Fitch (2018), o circuito neural subjacente ao ritmo musical abrange áreas sobrepostas às recrutadas na percepção e na produção de estruturas temporais em sinais auditivos em geral. Desse modo, áreas como a cingulada anterior, a ínsula, o córtex motor suplementar (SMA) e temporal, o tálamo, os gânglios da base, o cerebelo e o córtex parietal inferior (IPC) empreendem papéis significativos no processamento do ritmo (83). Verifica-se ainda que, na identificação de desvios métricos, os músicos parecem recrutar uma rede do hemisfério esquerdo, enquanto os não-músicos parecem envolver o hemisfério direito. Tal fato sugere que o treinamento musical pode ser capaz de influenciar o processamento de irregularidades no ritmo musical (83).

Os efeitos do treinamento musical podem gerar diferenças na ativação de determinadas áreas. Músicos têm maior atividade frontal e cerebelar, por exemplo. Os efeitos do treinamento musical na ativação estão relacionados a fatores tais como: características dos ritmos, tipo de estudo, tarefas e análises utilizadas (13). Além do treinamento musical, outros fatores também podem interferir na habilidade rítmica: sensibilidade ao ritmo, capacidade auditiva de memória auditiva de curto prazo, ou seja, o número de estímulos auditivos que podem ser lembrados por um curto período de tempo. Indivíduos com alta sensibilidade de batida mostram maior atividade em áreas motoras do que aquelas com baixa sensibilidade de batimento (13).

Embora haja uma grande quantidade de áreas cerebrais ativadas pelo ritmo, os papéis que elas desempenham na percepção do ritmo ainda não são totalmente compreendidos. Sabe-se, por exemplo, que os núcleos da base e a área motora suplementar são mais ativos durante a percepção de ritmos que induzem uma batida, comparado a ritmos que não a induzem. Acredita-se que essas áreas estejam envolvidas no tempo relativo, enquanto o cerebelo encontra-se ativo durante o tempo absoluto. Os núcleos da base, por outro lado, podem auxiliar tanto na busca (encontrando a batida) quanto na continuidade da batida (13) (14).

A meta-análise de Kasdan et al. (2022) investigou a percepção e produção do ritmo musical em adultos neurotípicos e procurou identificar regiões cerebrais importantes para o processamento do ritmo musical baseado em batimentos/batidas (*beat-based*) e moduladas pela complexidade rítmica. De acordo com os autores, dois mecanismos de temporização baseados em evidências de neuroimagem funcional (fMRI) podem ser dissociados no cérebro – o tempo baseado em batidas e o tempo baseado em duração. Acredita-se que o tempo baseado em batimentos, que leva à percepção de um pulso estável, envolva a área motora suplementar (SMA) e os gânglios da base (BG), especialmente o putâmen de forma bilateral. O putâmen teria o papel de prever e manter os batimentos em conjunto com a área motora suplementar. Em contrapartida, o tempo baseado em duração, responsável por codificar intervalos temporais como “uma série de durações únicas e absolutas” dependeria, frequentemente, do cerebelo. Nesse caso, o cerebelo seria responsável por previsões temporais, tais como comparar um sinal esperado a um resultado, além de detectar erros de forma automática e rápida e armazenar durações absolutas (122).

Nos ritmos baseados em batimentos observou-se a ativação bilateral do putâmen, opérculo rolândico esquerdo e do sulco pré-central ventral esquerdo. O estriado está envolvido na percepção de pistas sensoriais previsíveis. O corpo estriado foi mais ativo na geração interna, na previsão e continuação do batimento quando a percepção do batimento já está estabelecida, mas não quando o batimento ainda deve ser encontrado ou ajustado, como, por exemplo, em sequências temporais que alteram o andamento. É importante salientar que, lesões no corpo estriado direito (putâmen e caudado) levam à amusia do ritmo musical após acidente vascular cerebral, o que evidencia a importância dos gânglios da base na produção do ritmo musical. Os gânglios da base podem ser conceituados como marcapassos internos. O opérculo rolândico e a região pré-central estão envolvidos na escuta e na produção de ritmos musicais. O fascículo arqueado esquerdo, que conecta a região frontal e temporal, também está envolvido em tarefas de sincronização sensorio-motora (122).

Os autores afirmam que durante a produção ativa e percepção passiva do ritmo, existe uma conectividade entre regiões auditivas e motoras corticais, que é parte integrante do ritmo musical. Essa conectividade cortical auditivo-

motor inclui os gânglios da base, o cerebelo, a área motora suplementar, o córtex pré-motor, temporal e parietal e córtices (122).

Para ritmos baseados em batimentos menos complexos, como os ritmos sincopados observou-se a ativação bilateral da área motora e pré-motora suplementar, cerebelo, giro pré-central esquerdo e sulco intraparietal, áreas nos lobos parietal e temporal direitos, além do STG esquerdo e putâmen esquerdo. Ritmos complexos contam com o cerebelo para o rastreamento e processamento de batimentos menos previsíveis (mais sincopados), ao passo que o putâmen processa ritmos com uma estrutura mais forte e mais “no ritmo”. As áreas motora e pré-motora suplementar também foram ativadas, além de regiões parietais inferiores e temporais direitas. Destaca-se que a área motora suplementar (SMA) tem conexões fortes com o córtex motor primário (M1), enquanto a área pré-motora suplementar (Pré-SMA) está concetadas a áreas pré-frontais. Enquanto a primeira está funcionalmente envolvida com o processamento sensório-motor temporal e sequencial, a segunda está mais associada ao processamento sensorial não sequencial. Uma rede mais ampla foi encontrada para batidas sincopadas em comparação com a sincronização/estimulação rítmica isócrona. Em resumo, os autores encontraram uma rede cortico-subcortical simétrica bilateral em regiões auditivas e motoras (122).

Petter et. al., (2016), cujo estudo objetivou apresentar um modelo referente a um mecanismo de tempo para intervalos de subsegundos e suprasedundos, ressaltam que, apesar de estudos realizarem uma divisão entre tempo de duração e tempo de batida, há uma atuação conjunta das redes nas escalas de tempo de sub e supra-segundos como uma entidade unificada. Os autores propõem um modelo em que as regiões cerebrais dentro de uma rede cerebelar-talâmico-estriatal-cortical desempenham papéis distintos ao longo das fases de iniciação, continuação, ajuste e término de tempo. Para os autores, nessa rede, “o sistema cerebelar” estaria envolvido na iniciação e ajuste em aquisição de tarefas, ao passo que a “rede estriado-tálamo-cortical” estaria comprometida com as fases de continuação e iniciação de durações aprendidas. O término do tempo seria coordenado por ambos os sistemas. Por outro lado, o circuito estriado-tálamo-cortical representaria um mecanismo de temporização central, sendo ativado durante tempo cognitivo explícito, enquanto o corpo estriado provavelmente estaria envolvido em durações que

variam de segundos a minutos, embora haja evidências crescentes do seu envolvimento em milissegundos (123).

De acordo com Petter et al. (2016), os mecanismos de temporização do cerebelo alimentam os circuitos estriado-tálamo-corticais. Além disso, a dependência do cerebelo, assim como as necessidades de ajustes motores e temporais diminui na medida em que a tarefa é aprendida. Assim, se a mesma sequência arritmica de “tempo baseado em duração” for apresentada várias vezes, o cerebelo teria sua atividade gradualmente diminuída na medida em que a sequência fosse aprendida e essa responsabilidade do tempo fosse transferida para o estriado (123).

Na visão de Petter et al. (2016), a maioria das tentativas de elucidar a possível localização de um mecanismo de temporização dedicado se concentrou em regiões motoras clássicas, como o cerebelo e estriado, juntamente com suas áreas motoras auxiliares e/ou suplementares correspondentes. Nessa visão, os autores propõem que o cerebelo e o corpo estriado interagem e funcionam em conjunto por meio de conexões de áreas corticais dispersas, tais como o córtex pré-frontal dorsolateral (DLPFC) e a área motora suplementar (SMA), bem como regiões subcorticais, incluindo o tálamo a fim de fornecer um tempo contínuo e preciso em sub e supra segundos. Nesse sentido, o principal papel do cerebelo seria a adaptação motora, uma vez que pacientes com patologia cerebelar apresentam déficits visuomotores e de aprendizagem motora em que o desempenho motor deve ser alcançado por meio de comparação de estímulos externos a expectativas internas. Parece provável que o cerebelo desempenhe papel importante também em tarefas de cronometragem.

Na visão de Petter et al. (2016), o sistema cerebelar provavelmente está engajado na correção de erros, porém, não leva em conta adequadamente toda a gama de durações que podem ser cronometradas. Seu modelo é limitado pelo uso de durações de sub-segundo abrangendo 440-560ms (durações mais longas). Intervalos de supra-segundos (maiores que 2000 ms, por exemplo) passam por conexões talâmicas para o corpo estriado, onde os circuitos córtico-talâmico-estriatais, que suportam funções cognitivas assumem o controle. Ressalta-se ainda que, aproximadamente a metade dos neurônios dentro do cérebro adulto está no cerebelo. O cerebelo recebe estímulos de várias regiões em todo o sistema nervoso central e, embora desde o século

XVIII a análise experimental do cerebelo tenha sido focada em seu envolvimento com habilidades motoras e na coordenação do movimento, estudos mais recentes argumentam que o cerebelo possui saídas estendidas a regiões do neocórtex, incluindo o córtex pré-frontal e o córtex parietal posterior, ambas envolvidas na cognição de nível superior e outras funções. Além disso, atualmente é consenso que o cerebelo está conectado com os gânglios da base, o que sugere que essas estruturas subcorticais compõem uma rede responsável pela previsão e controle temporal do comportamento (123).

Os dados apresentados revelam que as regiões cerebrais responsáveis pelo processamento do ritmo atuam em redes, em conjunto, e não isoladamente. Essa conectividade entre as áreas do cérebro é modulada por características rítmicas, mas também pelo treinamento musical, que pode originar diferenças na ativação do sistema motor durante a percepção e produção do ritmo e da batida (29). A Figura 3 ilustra parte das principais áreas corticais e subcorticais envolvidas no processamento do ritmo.

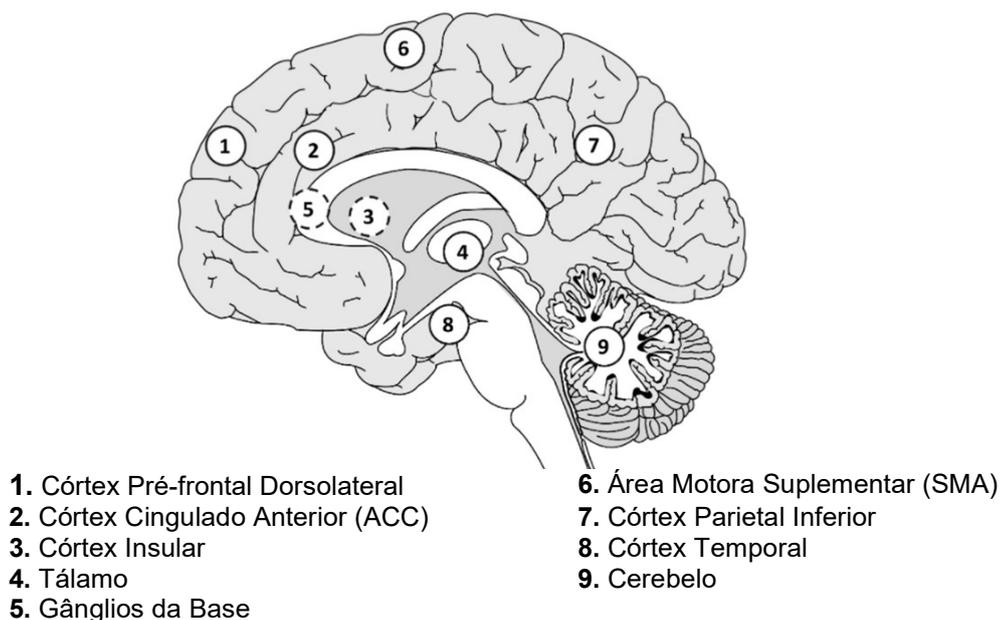


Figura 3. Áreas cerebrais envolvidas no processamento do tempo e do ritmo.  
Fonte: Adaptado de Kotz et. Al., (2018).

## 2.7. A ESTIMULAÇÃO TRANSCRANIANA POR CORRENTE CONTÍNUA (ETCC) OU TDCS (TRANSCRANIAL DIRECT CURRENT STIMULATION)

A tDCS (*Transcranial Direct Current Stimulation*); em português ETCC: (Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua) consiste em uma técnica de neuromodulação cerebral, segura, não-invasiva e relativamente indolor, que

ativa ou inibe determinadas áreas corticais. A técnica requer a colocação de eletrodos no escalpo em posições próximas às áreas cerebrais que serão estimuladas por corrente contínua de baixa intensidade (1 a 2 mA) durante 10 a 20 minutos, o que produz efeitos cognitivos ou comportamentais. A observação de tais efeitos gera inferências a respeito da função cerebral (18).

A técnica é administrada por um dispositivo portátil que contém uma bateria de 9 volts conectada a dois eletrodos, o ânodo e o cátodo. O eletrodo anódico é carregado positivamente, enquanto o catódico é carregado negativamente. Quando a corrente flui do eletrodo catódico para o anódico, cria-se um circuito. Na aplicação da tDCS, o eletrodo estimulador é colocado sobre a região de interesse, enquanto o eletrodo de referência é colocado sobre o supraorbital contralateral, o mastóide ou o ombro (18). Uma corrente elétrica suave constante flui entre os dois eletrodos, capazes de adentrar o couro cabeludo e alterar a excitabilidade dos neurônios subjacentes na área cortical estimulada. Esse processo gera despolarização ou polarização da membrana neuronal, dependendo da natureza anódica ou catódica da tDCS, respectivamente (20). Ocorre então, a modulação do potencial de repouso da membrana neuronal, por meio do reposicionamento iônico no espaço extracelular. Os neurônios próximos ao cátodo são hiperpolarizados, enquanto as células nervosas estimuladas pelo ânodo tornam-se despolarizadas (124).

A tDCS pode ser utilizada para estimular quase todas as funções cerebrais associadas ao córtex cerebral (parte externa do crânio), excluindo-se funções que se associam às áreas profundas do cérebro. Estudos têm utilizado essa técnica para examinar os efeitos da excitabilidade da atividade neural, porém a inibição da atividade neural também pode resultar em um melhor desempenho. Embora os mecanismos que melhorem o desempenho após inibição neural não estejam totalmente claros, sugere-se que tal inibição possa levar à redução da atividade cerebral irrelevante e permitir a concentração do indivíduo na tarefa em questão. Nesse sentido, a tDCS pode agir no sentido de estimular ou inibir a atividade neural (125). Os seus efeitos dependem da área estimulada, da polaridade da corrente e da duração da estimulação, podendo persistir de vários minutos a algumas horas. Para a tDCS aplicada sobre a região motora primária (córtex motor primário), essas alterações de excitabilidade podem ser medidas por alterações de amplitude de potenciais evocados motores (20).

Os protocolos para aplicação da tDCS buscam assegurar a eficácia e a segurança do procedimento e são diferenciados em termos da dose clínica recomendada, da intensidade do estímulo proferido, da duração da sessão e do posicionamento dos eletrodos. A corrente elétrica produzida pela estimulação é fraca e não causa, na maioria das pessoas, nenhuma sensação ou apenas uma leve sensação de formigamento durante o procedimento (126) (125) (18).

Por se tratar de uma técnica de neuromodulação não-invasiva, a tDCS tem atraído cada vez mais interesse no campo da neurociência como uma ferramenta inovadora para fins de neuroreabilitação. Ela tem produzido uma revolução na pesquisa em virtude da possibilidade em potencial de ser utilizada para uma variedade de tratamentos para os principais transtornos neurológicos e psiquiátricos (19).

Dessa forma, as aplicações clínicas da tDCS incluem protocolos para o tratamento do Mal de Parkinson (127) a dor, enxaqueca, depressão - resistente a fármacos (128), epilepsia, tinnitus coclear, transtornos de ansiedade, de atenção e de adição (129), transtornos neuropsiquiátricos, como Síndrome do Pânico, transtorno do estresse pós-traumático (TEPT), transtorno obsessivo-compulsivo (TOC) (130), transtorno do déficit de atenção e hiperatividade (TDAH), esquizofrenia (131) e alucinações auditivas, dentre outros. Os resultados da aplicação de tDCS têm sido promissores em adultos que apresentam distúrbios psiquiátricos, com uma baixa taxa de efeitos adversos, razão pela qual a tDCS recrutou o interesse clínico para o tratamento de distúrbios neuropsiquiátricos de adolescentes e crianças nos últimos anos (132).

Adicionalmente, ela tem sido utilizada também como uma técnica complementar para a terapia de reabilitação motora em diferentes contextos, como, por exemplo, em transtornos dos movimentos e recuperação da função de membros (e.g. desordens cerebelares, sequelas motoras produzidas por acidentes vasculares encefálicos - AVE - e por paralisia cerebral - PC) e afasia (19). Há diversas evidências de efeitos positivos na reabilitação da função motora humana após comprometimentos advindos de lesões cerebrais, tais como acidente vascular cerebral e paralisia cerebral, além da doença de Parkinson. A tDCS é utilizada ainda para aprimorar o aprendizado motor em indivíduos saudáveis e para a recuperação motora resultante de lesões

cerebrais ou estados patológicos ligados a déficits motores. Em indivíduos saudáveis, ela é capaz de melhorar a função motora nos membros superiores e inferiores, além de oferecer benefícios substanciais quando combinada ao treinamento motor (18) (19), razões pelas quais também tem sido empregada para melhorar as capacidades motoras e a resistência muscular de atletas esportivos de alto desempenho.

Além de sua utilização para finalidade clínica, a tDCS tem sido também apontada como uma importante ferramenta para o contexto acadêmico na medida em que pode potencialmente elucidar relações entre o cérebro e o comportamento de uma maneira reveladora. Considerando que a tDCS pode temporariamente melhorar ou bloquear a função de uma determinada região do cérebro, ela permite projetar estudos baseados em hipóteses que observem relações causais entre regiões focais do cérebro e a estimulação do desempenho cognitivo-comportamental. Nessa linha, a aplicação da tDCS em diferentes áreas corticais demonstrou produzir em vários estudos, modificações das funções perceptivas, cognitivas e comportamentais (133).

Considerando-se que a realização de uma atividade no contexto musical requer a integração sensório-cognitiva-motora, serão iustrados, a seguir, estudos em que a tDCS foi aplicada para fins de incremento cognitivo e motor. Subsequentemente serão fornecidos exemplos de estudos que investigaram aspectos cognitivos e motores associados às habilidades musicais propriamente ditas.

### **2.7.1. Breve Histórico da Estimulação Elétrica Transcraniana**

A estimulação elétrica tem sido empregada desde a antiguidade. Há registros de que Scribonius Largo, médico do imperador romano Claudius utilizava a corrente elétrica oriunda de peixes *Torpedo*, aplicados diretamente sobre o sistema nervoso para fins do alívio de enxaquecas e tratamento da gota. Há ainda registro da modulação elétrica produzida por peixes elétricos para uso terapêutico por Cláudio Galeno (131-410 D.C.), médico e filósofo romano, por Ibn-Sidah, linguista, filólogo e lexicógrafo da Andaluzia (séc. XI), e por Giovani Aldini, professor da Universidade de Bologna, Itália, com os seus estudos sobre a estimulação elétrica cortical em cadáveres no séc. XIX (134). A eletricidade produzida por peixes elétricos foi empregada para o tratamento de várias doenças até aproximadamente 1745, porém com

os experimentos desenvolvidos por Luigi Galvani e Alexandre Volta, sobre a eletricidade artificial e os efeitos da corrente elétrica sobre a fisiologia humana e o cérebro, a eletricidade natural não controlada passou a ser substituída pela eletricidade "artificial". No século seguinte, a estimulação elétrica transcutânea dos músculos faciais foi amplamente utilizada por Guillaume Benjamin Amand Duchenne, neurologista, que documentou fotograficamente a expressão facial resultante para cada combinação muscular (19).

No século XX, após vários estudos utilizando corrente elétrica em animais, a estimulação cerebral para fins terapêuticos foi conduzida pelo então médico americano Robert Bartholow, o primeiro a realizar estimulação elétrica cortical em um paciente com câncer, cujo procedimento sofreu duras críticas, além da acusação de conduta antiética. Nessa época, ocorreu então, o abandono do uso da tDCS em favor da terapia eletroconvulsiva. Cerca de trinta anos depois, estudos demonstraram que a aplicação de uma corrente contínua fraca aplicada no cérebro de ratos, fornecida por eletrodos intracerebral ou epidural, modulava a atividade neuronal espontânea (com incremento ou diminuição da excitabilidade) de modo dependente da polaridade, efeitos que se mantinham estáveis mesmo após a estimulação (135) (20). Nessa época, a utilização de um método não-invasivo de estimulação cerebral conhecido como polarização cerebral, cujo princípio é similar à tDCS, induziu a melhoria no humor e no estado de alerta em voluntários sadios (135) (136). Porém, 40 anos passaram-se até que na década de 2000 os experimentos de Priori (2003) e de Nitsche & Paulus (2000), introduziram uma nova era na pesquisa com a tDCS, ao demonstrarem, em humanos, o aumento (por estimulação anódica) ou diminuição (por estimulação catódica) da excitabilidade cortical durante o período de estimulação em que se aplicava uma corrente elétrica contínua de baixa intensidade sobre o escalpo, efeitos supostamente induzidos pela mudança do potencial de repouso da membrana dos neurônios nas regiões estimuladas. Treze anos após a publicação desses artigos que deram origem a diversos outros na literatura, foi lançado comercialmente o primeiro aparelho de tDCS (137) (138).

Na presente pesquisa, a tDCS será utilizada em relação às suas respectivas aplicações no contexto musical, considerando-se a sua possível influência nas funções cognitivas e motoras.

### **2.7.2. A tDCS e as Funções Cognitivas**

Em indivíduos hígidos, a tDCS é capaz de incrementar o processo de aprendizagem e das funções cognitivas, considerando o campo da neurociência cognitiva (21). Assim, os efeitos da tDCS sobre a cognição têm sido estudados sob vários aspectos, utilizando-se sessões únicas ou em sessões subsequentes e os resultados de diversos estudos têm sido promissores. Na visão de Thompson (2015, p. 149)

Estimular a atividade neural usando tDCS é como dar uma xícara muito pequena de café para uma parte do cérebro - pequena o suficiente para que as pessoas raramente percebam qualquer mudança em sua capacidade cognitiva, mas forte o suficiente para que o desempenho em tarefas cognitivas baseadas nesta parte do cérebro seja temporariamente e sutilmente melhorado (125).

Exemplo da estimulação neural induzida pela tDCS foi demonstrado no estudo de Fehring et al. (2019), que realizou a estimulação do córtex pré-frontal dorsolateral, região do cérebro associada ao funcionamento executivo, em 73 participantes, por um período de duas semanas. Os resultados apontaram que a estimulação anódica foi capaz de promover a aprendizagem de uma tarefa cognitiva durante a sessão de estimulação, principalmente se a estimulação anodal fosse realizada na primeira semana, em vez de ocorrer na segunda semana, o que indica que os efeitos da tDCS podem ser dependentes do nível de experiência nas tarefas cognitivas (139).

Na mesma direção, resultados do estudo realizado por Gomes et al. (2019), demonstraram que a técnica foi eficaz para o funcionamento cognitivo em idosos acima de 60 anos, com comprometimento cognitivo leve. A aplicação de tDCS resultou em melhoras significativas nas tarefas de evocação de memória, na memória de longo prazo, na fluência verbal e no funcionamento executivo dos participantes do estudo, em um procedimento que utilizou dez sessões consecutivas de tDCS, realizadas duas vezes por semana, com estimulação anódica de 2,0 mA, por 30 minutos, sobre a região do córtex responsável pelo funcionamento executivo, o córtex pré-frontal dorsolateral esquerdo - CPFDLE (140).

Meinzeret al. (2013), avaliaram os efeitos imediatos da tDCS anódica sobre a cognição e alterações prejudiciais da atividade cerebral decorrentes do envelhecimento, utilizando ressonância magnética funcional (fMRI) e tDCS simultaneamente. O estudo verificou se a tDCS seria capaz de melhorar o desempenho cognitivo durante uma sequência de repouso e uma tarefa de geração de palavras, cuja ação é afetada de forma negativa pelo envelhecimento. Dois grupos de participantes, um de adultos mais jovens e outro de adultos com mais idade, saudáveis, foram submetidos à aplicação da tDCS anódica sobre o giro frontal inferior esquerdo e, de forma concomitante, foi realizado exame de imagem por ressonância magnética funcional (fMRI). Os resultados indicaram que, embora houvesse diferenças iniciais de desempenho, ao final do experimento, os participantes com mais idade apresentaram uma melhora no desempenho no mesmo nível dos participantes mais jovens. A tDCS melhorou significativamente a recuperação de palavras em adultos idosos, o que sugere uma relação entre a diminuição dos efeitos da idade sobre a cognição e a atividade cerebral (141). Assim, a tDCS pode ser útil como uma ferramenta na melhora da cognição no processo de envelhecimento (21).

Se os efeitos de sessões continuadas têm sido convincentemente demonstrados por uma ampla variedade de estudos na literatura, os efeitos de uma única sessão de tDCS sobre as funções cognitivas em adultos saudáveis, todavia, parecem controversos. Nessa perspectiva, uma revisão expressiva de estudos da literatura buscou analisar tais efeitos em adultos saudáveis, entre 18 a 30 anos de idade, durante e após a sessão, levando em consideração variáveis como funções executivas, linguagem, memória, a partir da análise de mais de 400 estudos no banco de dados PubMed (142). Os resultados sugeriram que não existem evidências de que uma única sessão de tDCS gere efeitos confiáveis sobre a cognição de adultos saudáveis, embora isto não exclua a possibilidade de que sejam verificados efeitos positivos em populações diversificadas, tais como crianças, idosos ou enfermos, ou quando a tDCS for utilizada por várias vezes durante várias sessões, ou até mesmo em tarefas comportamentais (142).

### **2.7.3. A tDCS e as funções motoras**

A habilidade motora é inerente ao ser humano na aprendizagem de ações sequenciais que têm papel essencial na vida cotidiana. Tal aptidão nos ajuda a aprender inúmeras atividades humanas, desde tarefas simples, como pressionar um botão, até experiências mais complexas, como tocar piano (143).

A aprendizagem de uma sequência motora se caracteriza por estágios rápidos e lentos. A aprendizagem rápida ocorre em uma única sessão de treinamento, enquanto o aprendizado lento ocorre posteriormente, como resultado de várias sessões de prática (143). No processo de aprendizagem de uma sequência motora, por exemplo, as propriedades funcionais de diferentes áreas do cérebro podem mudar como resultado da prática, o que significa que há uma forte interação entre a aprendizagem motora e a neuroplasticidade cerebral. Ou seja, o processo de aprendizagem de habilidades motoras envolve o fortalecimento da conectividade sináptica. Diferentes regiões cerebrais são recrutadas, dependendo da fase da aprendizagem, e a aquisição e consolidação de aprendizagens motoras dependem de forma significativa do córtex motor primário (M1), uma área do cérebro situada no córtex frontal, que desempenha um papel crucial para o aprendizado (143).

Os efeitos modulatórios e a simplicidade da tDCS têm chamado a atenção de pesquisadores pelo fato de a técnica apresentar um potencial de modular a aprendizagem motora (18). Os primeiros estudos sobre neuromodulação no córtex motor primário (M1) em humanos, foram relatados por Nitsche e Paulus (2000), por meio de estimulação anódica e catódica transcraniana por corrente contínua e demonstraram que, enquanto a estimulação anódica por tDCS promoveu o aumento significativo da excitabilidade cortical motora, a estimulação catódica diminuiu consideravelmente a excitabilidade do córtex motor. Desde então, vários estudos descreveram a tDCS anódica como uma ferramenta útil para melhorar o desempenho motor, tanto em indivíduos saudáveis como em pacientes com distúrbios neurológicos, como acidente vascular cerebral, hemiplegia, entre outros (144).

Atualmente, estudos relacionados à habilidade motora têm utilizado a tDCS sobre o córtex motor primário (M1) (144). Os efeitos da aplicação

da tDCS podem ser determinados de acordo com a direção do fluxo da corrente. Dessa forma, ao ser aplicada sobre o córtex motor primário (M1), a tDCS anódica (aplicação do ânodo sobre M1 e o catódo sobre a região orbital contralateral) aumenta a excitabilidade cortical, o que aumenta a amplitude dos potenciais evocados motores (MEPs). Por outro lado, a tDCS catódica (usando o eletrodo catódico sobre M1) produz o efeito oposto (144).

Em estudo realizado por Reis et al. (2009), a tDCS demonstrou produzir maior aprendizado motor, em comparação a uma condição simulada (em que não ocorre a estimulação). Além disso, verificou-se que houve a manutenção desses efeitos por até 3 meses, o que destaca a capacidade da técnica como ferramenta promissora de reabilitação neurológica. De acordo com os autores, a tDCS anódica aplicada sobre o córtex motor primário (M1) aumenta a excitabilidade cortical motora sem despolarização neuronal direta nas baixas intensidades utilizadas em humanos, enquanto a tDCS catódica diminui a excitabilidade cortical. Uma única aplicação de tDCS anódica sobre a área M1 foi capaz de induzir melhorias transitórias de desempenho em várias tarefas motoras (144).

Em relação ao aprendizado de sequências motoras, o estudo de Wessel et al. (2016), aplicou tDCS anódica no cerebelo, concomitantemente ao treino de uma tarefa motora de sincronização, em que os sujeitos inicialmente tocavam com o dedo indicador direito em um mouse de computador uma sequência, de acordo com as pistas auditivas e, posteriormente, reproduziam a sequência aprendida sem a indicação auditiva. A pesquisa revelou que a tDCS cerebelar anódica foi capaz de melhorar o desempenho da tarefa em ambos os testes, de acompanhamento e de sincronização. Assim, os resultados sugerem que a tDCS cerebelar pode aumentar a retenção de habilidades motoras finas e facilitar a retenção de habilidades motoras complexas (145)(18).

#### **2.7.4. A tDCS versus Habilidades Musicais - Funções Motoras e Cognitivas Associadas ao Treinamento Musical**

Os efeitos da tDCS sobre as habilidades musicais têm sido verificados em diferentes modalidades de estudos, desde os que investigam questões relacionadas à dimensão de frequência/altura (*pitch*) até aqueles que se aplicam a aspectos rítmico-musicais (146) (147). As principais regiões do sistema nervoso estimuladas consistem em regiões do córtex motor, que têm

sido extensivamente investigadas quanto ao papel que exercem na aquisição e na performance de tarefas motoras que exigem as habilidades dos dedos (e.g. área motora primária – M1) (148) (149), área pré-motora (relacionadas ao planejamento motor), do cerebelo (envolvido com a produção do ritmo) (18), giro supramarginal superior (relacionado à memória para alturas) (147), e o córtex parietal posterior (associado à sincronização auditivo-motora) (148). A seguir, serão expostos os resultados dos estudos relacionados ao ritmo, os quais exemplificam a utilização da tDCS na investigação de habilidades musicais.

Existem diversas evidências de que a tDCS é capaz de influenciar o desempenho motor em tarefas associadas ao contexto musical, assim como há também evidências de que o treinamento musical pode afetar o efeito da tDCS sobre a habilidade motora. A aplicação da tDCS anódica sobre o córtex motor (área motora primária - M1) durante um período de três dias, levou à redução significativa no tempo de reação em uma tarefa seqüencial de acompanhamento do ritmo por meio do toque do dedo indicador, “*finger tapping*”, que é considerada uma das tarefas mais utilizadas para mensurar a sincronização motora em indivíduos saudáveis (143).

Sánchez-Kuhn et al. (2018), no estudo cujo objetivo foi avaliar os efeitos da tDCS sobre o córtex motor (M1) em uma tarefa de aprendizado de sequência motora durante e após a estimulação, demonstraram efeitos de três sessões de tDCS anódica (20 minutos de duração) sobre o córtex motor (M1) de músicos e não músicos. O principal efeito da estimulação foi encontrado no grupo de não músicos, desde a primeira sessão de estimulação. A manutenção desse efeito foi observada por 20 min e 08 dias após a intervenção, ao passo que não foram observados efeitos da aplicação da tDCS nos músicos em nenhum dos testes. Os autores constataram ainda, que os efeitos da tDCS são reduzidos conforme os participantes adquirem experiência, uma vez que eles podem utilizar diferentes redes cerebrais após a aquisição da nova tarefa. Além disso, o estudo revelou que os músicos apresentaram melhor desempenho no teste SEQTAP durante a linha de base quando comparados com os não-músicos. Isto permite concluir que a tDCS pode auxiliar no início do processo de aprendizagem e na manutenção de habilidades motoras recém-adquiridas e que o seu efeito é dependente do treinamento musical anterior(19).

Acredita-se que o treinamento musical prévio pode moldar as estruturas cerebrais, a mielinização dos neurônios e, conseqüentemente, os resultados comportamentais em virtude de processos de plasticidade cerebral (19). Assim, o treinamento musical anterior pode ser um modelo adequado para estudar diferenças individuais entre os processos motores em indivíduos saudáveis (39). Entretanto, os efeitos da tDCS anódica em diferentes estágios do aprendizado da sequência motora ainda não são completamente compreendidos.

De acordo com Nomura & Kirimoto (2018), resultados de estudos sugerem que múltiplas aplicações de tDCS anódica, em comparação com uma única sessão podem induzir a melhorias significativas em habilidades motoras. Os resultados indicam que apenas uma sessão parece não ser o suficiente para induzir mudanças significativas nos resultados comportamentais durante e imediatamente após a estimulação. No entanto, os resultados indicam uma melhora significativa 24 horas após uma única sessão de tDCS anódica sobre a área M1 (143).

É interessante ressaltar que a tDCS anódica pode provocar o aumento da excitabilidade da área M1 e, conseqüentemente, o aumento da chance da formação de conexões sinápticas mais fortes e eficazes entre os neurônios ativados durante a aprendizagem de uma habilidade/sequência motora. Nesse sentido, a aplicação de múltiplas sessões de tDCS anódica é necessária para a indução de mudanças eficazes na atividade cerebral (143).

A execução de tarefas rítmico-musicais que exigem precisão temporal da ordem de milissegundos requer o engajamento de uma rede cerebral que compreende estruturas corticais e subcorticais do sistema nervoso, dentre as quais o córtex pré-motor dorsolateral. Pollok, Overhagen e Krause (2017), aplicaram tDCS (anódica, catódica e simulada) para investigar o papel dessa região sobre o tempo de movimento para a execução rítmico-musical em tarefas de sincronização, de sequenciamento e de tempo de reação. O estudo partiu do pressuposto de que o córtex pré-motor dorsolateral esquerdo está envolvido na execução de movimentos repetitivos de batida das mãos, na sincronização auditivo-motora, na integração sensório-motora, no tempo de reação e no tempo implícito que otimiza a execução do movimento em relação a eventos externos previsíveis. Assim, os participantes foram convocados a realizar uma tarefa de sincronização, uma tarefa de continuação e uma tarefa

de tempo de reação simples. Na primeira tarefa, eles deveriam sincronizar a batida da mão direita com um sinal isócrono de estimulação auditiva. Após terem sincronizado a batida da mão por 30 toques o som foi cessado, e eles deveriam continuar a batida por mais 30 toques na ausência do som. Ou seja, a tarefa de sincronização era seguida de uma tarefa de sequenciamento. Os autores hipotetizaram que se a tDCS afetasse o desempenho de sincronização ou continuação, o córtex pré-motor dorsolateral esquerdo teria uma contribuição relevante para o tempo de movimento na faixa de milissegundos. Por outro lado, se ele estivesse envolvido de forma inespecífica na execução do movimento, a tDCS afetaria o desempenho, independentemente da tarefa específica (147).

Para a tarefa de continuação, os resultados indicaram intervalos entre tentativas significativamente menores após a tDCS catódica, sugerindo a aceleração de movimento. Foi observado também uma tendência para intervalos entre tentativas maiores após a estimulação anódica, sugerindo a lentificação do movimento. Como esperado, não foram encontrados efeitos significativos após a estimulação simulada. Da mesma forma, não foram observados efeitos da polaridade da corrente para as tarefas de sincronização nem de tempo de reação. Esses resultados sugerem o envolvimento causal do córtex pré-motor dorsolateral na reprodução temporalmente precisa de ritmos isócronos ao invés da sincronização sensório-motora (auditivo-motora e controle motor básico) e apóiam a hipótese de que diferentes áreas corticais do cérebro, dentro da rede de controle motor, contribuem distintamente para o sincronismo de movimentos realizados na ordem de milissegundos (147).

### 3. JUSTIFICATIVA

A população mundial de idosos vive um aumento progressivo de envelhecimento (28).

Apesar dos declínios fisiológicos e cognitivos inerentes ao envelhecimento, o treinamento musical pode favorecer as habilidades cognitivas e retardar os sintomas do envelhecimento (29) (30) (16) (31) (32) (60) (34) (35) (36). Nessa perspectiva, a tDCS se apresenta como instrumento de favorecimento da aprendizagem e manutenção de habilidades motoras (18, 19). Considerando que a sincronização rítmica é prejudicada com o avanço da idade (37) (38), o que acarreta prejuízos à execução musical/instrumental, o presente estudo justifica-se pela necessidade de se investigar a eventual interferência da tDCS sobre a produção do ritmo musical, aspecto tão importante para que a execução musical se torne factível na vida desse público etário.

Embora as pesquisas que envolvem tDCS e a reabilitação motora e cognitiva de indivíduos idosos estejam em crescente expansão, estudos específicos referentes à sincronização rítmico-musical de indivíduos idosos e tDCS são embrionários. Uma busca realizada na base de dados Pubmed no dia 19 de junho de 2022 com as palavras-chave (transcranial direct current stimulation) AND (rhythmic-musical synchronization in theelderly); (tDCS) OR (transcranial direct current stimulation) AND (rhythmic-musical synchronization in the elderly); (tDCS) OR (Transcranial Direct Current Stimulation) AND (rhythmic-musical performance of the elderly) não apresentou nenhum estudo relacionado.

Os desdobramentos do presente estudo poderão contribuir para a identificação e compreensão dos mecanismos associados às dificuldades rítmico-musicais de indivíduos idosos que se envolvem com práticas musicais. Dessa forma, espera-se contribuir com a neurociência da música e auxiliar tanto a prática de educadores musicais que trabalham com idosos, quanto aos próprios indivíduos idosos que se submetem à aprendizagem musical. Pretende-se ainda, encorajar pessoas idosas, sem conhecimento musical prévio a se aventurarem no terreno musical considerando-se as vantagens que o treinamento musical confere nesse período etário.

## 4. OBJETIVOS

Sabe-se que a atividade rítmico-musical abrange vários domínios, tais como: tempo, audição, movimento, atenção, estética e emoção (13), envolve tanto sistema mais simples, como os núcleos da base, quanto sistemas cognitivos superiores como, por exemplo, sistemas pré-frontais envolvidos no funcionamento executiva (09), que o ritmo musical pode ser influenciado pela idade (42), que a capacidade de perceber e produzir ritmos difere entre as pessoas (13), que as funções executivas dão apoio a atividades de planejamento, raciocínio, atenção, concentração, flexibilidade cognitiva, entre outras, sendo essenciais nas tarefas de aprendizagem musical (51) (25), que as funções executivas possuem diferentes fases de maturação neurológica (09) e que a tDCS pode ser instrumento capaz de otimizar a atividade motora (39). Diante de tais aspectos, o objetivo geral e os específicos serão explicitados a seguir.

### 4.1 OBJETIVO GERAL

Investigar os benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS para idosos com e sem treinamento musical.

### 4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Avaliar as funções executivas em idosos com e sem treinamento musical antes e após a aplicação da tDCS.
- 2) Avaliar a capacidade de sincronização sensório-motora a partir da pulsação musical, em idosos com e sem treinamento musical, antes e após a aplicação da tDCS.
- 3) Analisar a percepção da pulsação, de acordo com a mudança de andamento, em idosos com e sem treinamento musical, antes e após a aplicação da tDCS.
- 4) Avaliar o desempenho dos idosos com e sem treinamento musical diante de uma tarefa de aprendizagem de digitação motora, antes e após a aplicação da tDCS.

## **5. MÉTODOS**

### **5.1. ASPECTOS ÉTICOS**

O presente trabalho foi submetido à Plataforma Brasil e mediante parecer técnico (ANEXO 1), atendeu aos requisitos da Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde, que dispõe sobre as normas éticas para pesquisa envolvendo seres humanos. Foi apreciado e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade de Brasília, sob o número CAAE: 27294719.0.0000.0030.

Os participantes da pesquisa participaram de forma voluntária e de acordo com os padrões éticos de participação informada para a pesquisa com humanos.

Anteriormente à coleta de dados propriamente dita, os participantes receberam da pesquisadora explanação sobre os objetivos do estudo, bem como sobre os possíveis riscos e benefícios associados a sua participação no mesmo e a garantia de confidencialidade das informações coletadas. Os participantes tiveram acesso ao Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE A), tendo sido o mesmo devidamente assinado por todos os participantes antes do início do procedimento associado à coleta de dados.

### **5.2. TIPO DE ESTUDO**

O estudo é do tipo experimental, com delineamento duplo cego randomizado placebo controlado. A coleta de dados foi realizada entre janeiro de 2021 e março de 2022.

### **5.3. RECRUTAMENTO DA AMOSTRA**

A seleção dos sujeitos para compor a amostra foi realizada após a aprovação do projeto pelo CEP. O recrutamento dos participantes músicos foi realizado, inicialmente, a partir da obtenção de uma relação de alunos por idade, fornecida pela secretaria do Centro de Educação Profissional - Escola de Música de Brasília (CEP-EMB). A lista incluiu alunos de uma variedade de cursos instrumentais oferecidos pela escola em questão. A EMB foi escolhida por se tratar de referência no ensino da música em Brasília, uma unidade

escolar com mais de dois mil alunos de diferentes faixas etárias, cuja pesquisadora faz parte do corpo docente.

O contato com os possíveis participantes foi realizado por meio de telefonema realizado pela pesquisadora. Em razão da ocorrência da pandemia de COVID-19 durante a realização do estudo, tendo em vista a dificuldade de recrutamento dos idosos que consistiam o principal grupo de risco para a contração da doença, procedemos com uma amostra não probabilística do tipo acidental em que os participantes do estudo foram recrutados por conveniência, ou seja, por aqueles idosos que ao serem contactados pela pesquisadora, se dispuseram a participar do estudo.

Durante o contato telefônico com os potenciais participantes, eles foram informados sobre os objetivos da pesquisa, os critérios de inclusão e de exclusão, os testes cognitivos e rítmicos, além de detalhes sobre a aplicação da tDCS. Após aceitar participar da pesquisa, marcava-se uma data inicial para o início da coleta de dados de acordo com a disponibilidade e em local de preferência do participante (em duas sessões individuais, com duração de aproximadamente 2 horas) no qual o mesmo se sentisse mais confortável considerando-se o cenário de pandemia da Covid-19. Os locais da pesquisa foram o Laboratório de Neurociência e Comportamento ou a residência do participante.

### **5.3.1. Critérios de Inclusão**

Os critérios considerados para a inclusão na pesquisa para os participantes com treinamento musical foram: 1) Ser idoso, ou seja, apresentar a idade mínima de 60 anos, idade em que são consideradas idosas as pessoas no Brasil (150); 2) ser instrumentista; 3) tocar atualmente qualquer tipo de instrumento musical; 4) ter no mínimo 24 meses (dois anos) contínuos de aprendizagem no instrumento; 5) ter realizado o treinamento musical por meio de aulas em escolas de música e/ou aulas particulares; 6) ser destro; 7) possuir visão normal ou corrigida para normal; 8) não possuir implante metálico na área da cabeça; 9) não ter consumido drogas ou medicamentos psicotrópicos nos últimos sete dias anteriores ao início da pesquisa; 10) não possuir histórico familiar de epilepsia; 11) não possuir distúrbios neurológicos, psiquiátricos ou músculo-esqueléticos autodelcarados; 12) não possuir marca passos cardíacos ou lesões de pele próximas à região de estimulação.

Os critérios de inclusão para idosos sem treinamento musical foram os mesmos à exceção dos critérios 3 4 e 5 previamente apresentados. Ressalta-se que as informações sobre os critérios expostos foram obtidas mediante auto-declaração dos participantes.

### 5.3.2. Critérios de Exclusão

Para fins do presente estudo, apenas indivíduos destros foram selecionados em virtude de que indivíduos canhotos apresentam padrão de lateralidade em geral, diferenciado dos destros.

Foram considerados impedidos de participar do estudo: 1) indivíduos com idade inferior a 60 anos; 2) indivíduos canhotos autodeclarados; 3) indivíduos com acometimentos neurológicos e que apresentassem alterações motoras de membros superiores, deficiência auditiva, visual ou quaisquer outros impedimentos físicos ou neurológicos que pudessem comprometer a sua participação no estudo 4) musicistas que aprenderam a tocar os instrumentos musicais sem aulas formais de música ou de forma autodidata, ou seja, musicistas com treinamento musical informal.

## 5.4. PARTICIPANTES

Participaram da pesquisa 48 idosos com e sem treinamento musical, com idades entre 60 e 86 anos, sendo estes distribuídos em dois grupos, um formado por idosos com treinamento musical (n=25), com idade média de 69,2 anos e outro formado por idosos sem treinamento musical (n=23) com idade média de 70,6 anos. As características sociodemográficas da amostra que compõem o presente estudo, tais como idade, gênero e escolaridade estão representados na Tabela 1.

Tabela 1. Características demográficas da amostra.

(continua)

Caraterísticas	Amostra total	Com treinamento	Sem treinamento
	Média ± Desvio Padrão	Média ± Desvio Padrão	Média ± Desvio Padrão
<b>Participantes (n)</b>	48	25	23
Sexo (F/M)	25/23	11/14	14/9
Idade (anos)	69,92 ± 6,35	69,20 ± 6,08	70,70 ± 6,68
Escolaridade (anos)	14,46 ± 2,82	15,44 ± 0,65	13,39 ± 3,77

Tabela 1. Características demográficas da amostra.

(conclusão)

Caraterísticas	Amostra total	Com treinamento	Sem treinamento
	Média ± Desvio Padrão	Média ± Desvio Padrão	Média ± Desvio Padrão
<b>Visão n (%)</b>			
Uso de óculos	35 (72,92%)	20 (80,00%)	15 (65,22%)
Uso de lentes	2 (4,17%)	2 (8,00%)	-
<b>Área cerebral estimulada n (%)</b>			
Área Motora	28 (58,33%)	15 (60,00%)	13 (56,52%)
Cerebelo	20 (41,67%)	10 (40,00%)	10 (43,48%)
<b>Ordem da estimulação por tDCS n (%)</b>			
tDCS real/"sham"	25 (52,08%)	14 (56,00%)	11 (47,83%)
tDCS"sham"/real	23 (47,92%)	11 (44,00%)	12 (52,17%)

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

O número final da amostra (n=48) é compatível com estudos anteriores realizados com tDCS (e.g. Meinzer et al. (2013), Wessel et al. (2016), Pollok et al. (2017), Nomura & Kirimoto (2018), Sánchez-Kuhn et al. (2018), nos quais o número de participantes varia entre 12 a 40. São poucos os estudos como o de Fehring et al. (2019) que utilizaram uma quantidade maior de participantes, no caso (n=73).

No presente estudo, um total de 70 sujeitos foram selecionados para elegibilidade. Desses, 03 não se encaixaram nos critérios de inclusão, 02 realizaram os testes na primeira semana e não concluíram na segunda semana, um por questões de saúde e outro porque houve problema na atualização de um teste. Os demais (17) não aceitaram participar da pesquisa. Do total de participantes com treinamento musical que concluíram o protocolo da pesquisa, 17 foram extraídos da lista da EMB, 04 eram ex-professores da escola (músicos profissionais) e 04 participaram após indicação. Toda a amostra de participantes sem treinamento musical foi composta a partir da indicação de participantes ou convidada diretamente pela pesquisadora. A figura 4, abaixo, retrata as etapas da randomização.

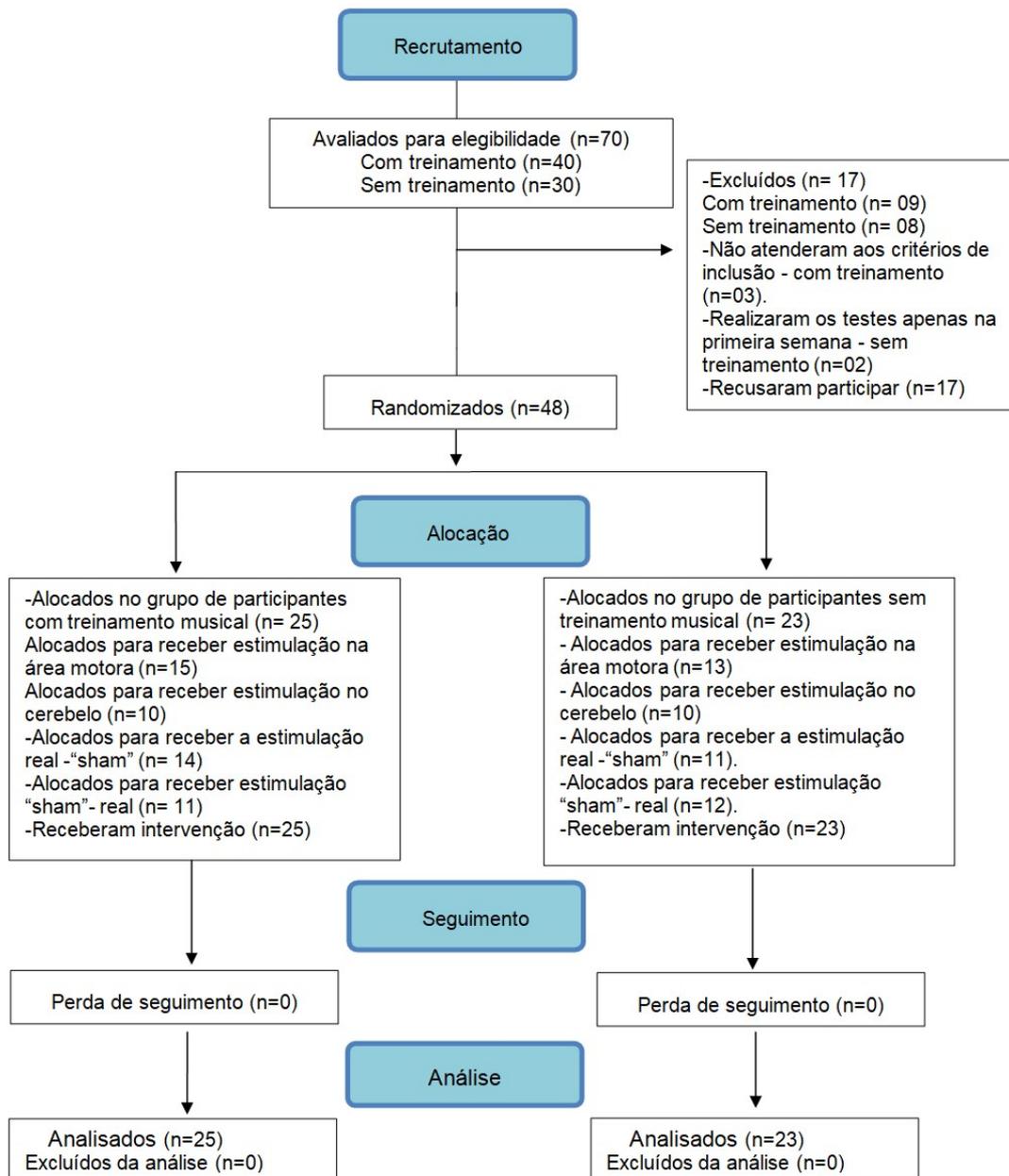


Figura 4. Etapas da Randomização da presente pesquisa.

## 5.5. INSTRUMENTOS DE COLETA DE DADOS

O estudo utilizou escalas e testes neuropsicológicos para a mensuração das funções executivas, da percepção e produção rítmico-musical, e da aprendizagem de sequências motoras, de acordo com o protocolo estipulado. Os instrumentos utilizados estão listados a seguir e podem ser verificados na Figura 5, abaixo:

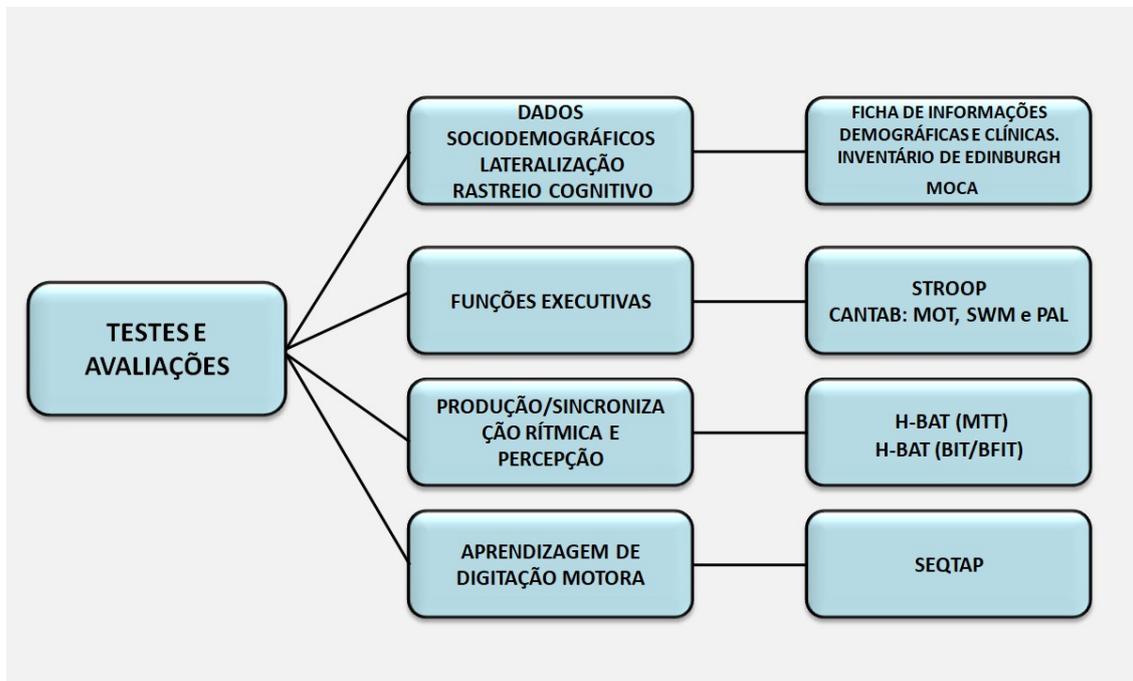


Figura 5. Instrumentos aplicados no presente estudo (2022)

### 5.5.1. Avaliação da Dominância Manual – Edinburgh Handedness Inventory

A dominância manual se correlaciona com a lateralidade cerebral e esta pode influenciar no padrão de desempenho apresentado pelos voluntários nos testes de avaliação rítmica. Assim, para assegurar que o desempenho não seja influenciado pela dominância manual, foram utilizados apenas indivíduos destros segundo o resultado obtido pelo Inventário de Edimburgo. Este instrumento consiste em um método simples e breve de avaliar a lateralidade em uma escala quantitativa (151).

O *Edinburgh Handedness Inventory* (151) (152) determina a preferência de mão. Na administração do teste solicita-se ao participante a indicação de qual mão se utiliza, preferencialmente, na execução de cada atividade cotidiana apresentada: escrever, desenhar, atirar/lançar, usar a tesoura, segurar a escova de dentes, cortar com uma faca, usar uma colher, usar uma vassoura, segurar em um fósforo para aceder/riscar (fósforo) e segurar na tampa para abrir uma caixa (tampa). São necessários caneta e folha com as instruções e espaços para resposta. A administração é realizada em, aproximadamente, 5 minutos. Para a mão utilizada marca-se “++”, caso o uso seja indiferente, marca-se “+” em ambas as colunas. Para cada sinal “++” atribuem-se 2 pontos e para cada “+” contabiliza-se 1 ponto. O quociente de

lateralidade pode variar entre -100, que significa forte preferência esquerda enquanto +100 representa forte preferência direita. Ao término do inventário é aplicada a fórmula  $QL = (D-E/D+E) \times 100$ . Indivíduos com pontuação entre - 61 e -100 são considerados canhotos, entre - 60 e + 60 ambidestros e entre 61 e 100 destros (118). O inventário calcula o quociente de lateralidade, determina a dominância lateral manual e define uma escala de intervalo entre destros consistentes (+100) e canhotos consistentes (-100) (151).

### **5.5.2. Rastreio Cognitivo – Teste de MoCA (*Montreal Cognitive Assessment*)**

Para fins de rastreio cognitivo, foi utilizado o teste de MoCA - Avaliação Cognitiva de Montreal. O teste foi desenvolvido como uma escala de rastreio da cognição global que tem apresentado boa aplicabilidade, de maneira acessível. Tal instrumento tem sido amplamente empregado na literatura científica, foi traduzido para a população lusófona, e avalia diferentes domínios cognitivos: memória operacional visuoespacial, atenção, funções executivas, linguagem, abstração, evocação tardia, conceituação, cálculo e orientação (153). Seu tempo de aplicação é de aproximadamente 10 minutos. O escore total máximo a ser obtido é de 30 pontos; sendo o escore de 26 ou mais considerado normal (153).

O teste de MoCA foi concebido como um teste de rastreio cognitivo para auxiliar na identificação de CCL (“Comprometimento Cognitivo Leve”), relacionado a alterações cognitivas do envelhecimento, e às manifestações clínicas iniciais de demência, geralmente atreladas a dificuldades de memória. Tal instrumento tem sido considerado um teste de rastreio cognitivo privilegiado por sua especificidade em rastrear, por meio de instrumento de prático e eficaz, o CCL e distingui-lo de idosos cuja função cognitiva é intacta (154). O teste MoCA pode ser conferido no ANEXO 3 e as instruções para a sua aplicação estão disponíveis no ANEXO 4.

Além do teste de MoCA, para fins da verificação das funções executivas foram utilizados os instrumentos: teste de STROOP e os testes *Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery* (CANTAB) (MOT, SWM e PAL), explicitados abaixo.

### 5.5.3. Teste de STROOP

O teste de STROOP foi um dos testes utilizados para a avaliação das Funções Executivas. O Teste de Stroop é um instrumento utilizado para avaliar o efeito de interferência entre duas propriedades conflituosas, sendo estas apresentadas em uma mesma configuração do estímulo. O teste Stroop permite medir o efeito Stroop, que se refere à interferência no tempo de reação de uma tarefa fornecendo pistas conflitantes. O efeito Stroop é usado para avaliar habilidades cognitivas, como atenção seletiva, flexibilidade cognitiva e velocidade de processamento e, em geral, funções executivas (49). Atualmente, existem várias versões com diferentes etapas. Em sua versão original, primeiramente se apresentam palavras escritas na cor preta, que deverão ser lidas pelo participante. Na segunda etapa, são apresentados estímulos neutros (sequências de letras, por exemplo, XXXX) ou não léxicos (por exemplo, retângulos) coloridos para que o participante nomeie sua cor em voz alta. Na terceira etapa, são apresentadas palavras coloridas, cuja cor deverá ser nomeada em voz alta pelo participante. Esta foi a etapa utilizada no presente estudo. Esta etapa inclui um fator de interferência, uma vez que, na maioria das tentativas há incongruência entre a palavra e a cor em que ela está escrita, por exemplo, vermelho escrito em azul. Na terceira tarefa, o sujeito vê as palavras coloridas impressas em tinta diferente (conflitante com o significado semântico da palavra) e é solicitado a nomear as cores em que as palavras são impressas. Visto que a leitura de palavras é um processo automático, o desempenho nesta tarefa requer que o sujeito iniba a leitura enquanto se concentra na nomeação de cores (49). O aumento no número de erros, assim como o aumento no tempo necessário para executar o comando na terceira etapa são interpretados como o “efeito de interferência de Stroop”, ou seja, refletem o controle inibitório (155).

Na presente pesquisa foi utilizada uma versão computadorizada do teste STROOP (Test Platform), no qual foi apresentada uma palavra colorida a cada vez, no centro da tela, por 800 ms. Os participantes foram instruídos a pronunciar, em voz alta, a cor em que as palavras estavam escritas. Os áudios foram filmados de maneira a permitir a inserção das respostas nas planilhas e compará-las com as palavras apresentadas. O desempenho no teste STROOP foi medido considerando-se: a) acertos - quando a resposta do sujeito coincidia com a cor da palavra; b) erros - quando a resposta diferia da cor apresentada;

c) erros por omissão - quando os participantes não responderam à tentativa. As Figuras 6 e 7, abaixo, ilustram a terceira etapa do teste de Stroop, utilizada na presente pesquisa.

### Terceira etapa do Teste de STROOP



**Resposta correta: verde**

Figura 6. Sequência ilustrativa da terceira etapa do teste de STROOP.



Figura 7. Realização do teste de STROOP (cores e palavras).  
Fonte: Estudo atual (2022). Legenda: participante deve observar a tela do computador e dizer qual a cor em que a palavra está escrita.

#### **5.5.4. Testes do *Cambridge Neuropsychological Test Automated Battery* (CANTAB)**

Os testes do CANTAB foram utilizados conforme detalhamento na sequência apresentada a seguir.

##### **5.5.4.1. Motor Screening Task (MOT)**

O teste *Motor Screening Task* é uma forma inicial de apresentar os testes CANTAB para o participante. Consiste em uma tarefa de triagem motora, que fornece uma avaliação geral sobre os déficits sensório-motores. Sua utilização permite avaliar a capacidade geral dos participantes de compreender e concluir tarefas usando a tecnologia do iPad. Permite ainda analisar se algum tipo de déficit sensoriomotor ou auditivo pode interferir no desempenho do participante ou se a falta de compreensão do participante é capaz de causar limitação na coleta de dados. O teste também permite que os pacientes se familiarizem com o uso de uma tela sensível ao toque. Trata-se de uma tarefa rápida, com tempo de administração de aproximadamente 2 minutos. O teste tem início com a apresentação de cruzes coloridas em diferentes locais da tela, que aparecem piscando, uma de cada vez. O participante deve tocar a tela com o dedo indicador direito e selecionar a cruz da forma mais rápida e precisa possível. As medidas de resultado avaliam a velocidade de resposta do participante e a precisão ao selecionar as cruzes que aparecem na tela. Dessa forma, o teste MOT fornece um ensaio geral para determinar se as dificuldades sensório-motoras ou de compreensão limitam a coleta de dados válidos dos participantes. A Figura 8 exemplifica o teste MOT e o Quadro 1 indica as principais medidas de desfecho do teste.

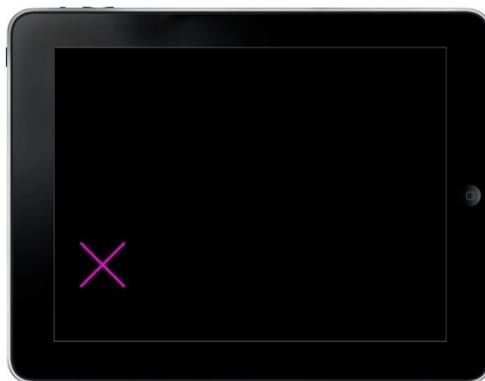


Figura 8. *Motor Screening Task* (MOT) ou Tarefa de Triagem Motora.

Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition. Cruzes coloridas aparecem em diferentes locais da tela. O participante deve tocar a tela e selecionar a cruz de forma mais rápida e precisa possível.

Quadro 1. Principais medidas de desfecho - MOT

<b>SIGLA</b>	<b>DESEMPENHO MENSURADO</b>
<b>MOTML</b>	A latência média desde a exibição de um estímulo até uma resposta correta a esse estímulo durante as tentativas de avaliação.
<b>MOTSDL</b>	Este é o desvio padrão da latência, calculado a partir da exibição de um estímulo até uma resposta correta a esse estímulo durante as tentativas de avaliação.
<b>MOTTC</b>	O número total de testes de avaliação nos quais o sujeito deu uma resposta correta.
<b>MOTTE</b>	O número total de ensaios de avaliação em que o sujeito não conseguiu dar uma resposta correta

Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition.

#### 5.5.4.2. Spatial Working Memory (SWM)

O *Spatial Working Memory* é um teste autocoordenado que requer retenção e manipulação de informações visuoespaciais e exige demandas das funções executivas. Fornece uma medida de estratégia, mede a capacidade de se reter informações e manipulá-las na memória de trabalho, além de erros de memória de trabalho. Seu tempo de administração é de aproximadamente 5 minutos.

A tarefa inicia com a apresentação, na tela, de uma série de quadrados coloridos (caixas), que deverão ser selecionadas por um processo de eliminação. Quando as caixas se abrem, o participante deverá encontrar um “*token*” amarelo em cada uma de uma série de caixas e usá-los para preencher uma coluna vazia no canto direito da tela. O nível de dificuldade do teste aumenta gradativamente no decorrer da tarefa. Ao final do teste, os participantes deverão pesquisar o número máximo de 12 caixas. A cor e a posição das caixas usadas são alteradas de teste para teste para que seja desencorajado o uso de estratégias de pesquisa estereotipadas. As medidas de resultado do teste incluem estratégias utilizadas e erros cometidos, tais como selecionar caixas que já foram consideradas vazias ou visitar caixas que já contêm um “*token*”. A Figura 9 exemplifica o *Spatial Working Memory* e o Quadro 2 apresenta as principais medidas de desfecho do teste.

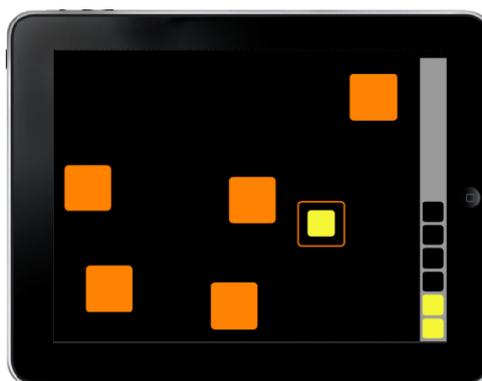


Figura 9. *Spatial Working Memory* (SWM) ou Memória de Trabalho Espacial.

Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition. O teste tem como objetivo aferir a memória operacional espacial. O participante deve encontrar tokens (quadrados amarelos) e usá-los para preencher a coluna na lateral direita da tela. Os tokens amarelos aparecem apenas uma vez em cada caixa.

Quadro 2. Principais medidas de desfecho - SWM

<b>SIGLA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>	<b>DESEMPENHO MENSURADO</b>
<b>SWMBE</b>	SWM entre erros	Número de vezes em que o participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado em todos testes (com quatro, seis e oito tokens).
<b>SWMBE 4</b>	SWM entre erros - 4 caixas	Número de vezes em que um participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado ao longo de todas as tentativas em que há 4 tokens.
<b>SWMBE 6</b>	SWM entre erros - 6 caixas	Número de vezes em que um participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado ao longo de todas as tentativas em que há 6 tokens.
<b>SWMBE 8</b>	SWM entre erros - 8 caixas	Número de vezes em que um participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado ao longo de todas as tentativas em que há 8 tokens.
<b>SWM 12</b>	SWM entre erros - 12 caixas	Número de vezes que o sujeito revisita uma caixa na qual um token foi encontrado anteriormente. Calculado em todas as tentativas com apenas 12 tokens.
<b>SWMS</b>	SWMS - Uso de estratégia (6-12 caixas)	Número de vezes em que o participante inicia um novo padrão de pesquisa de <i>tokens</i> a partir da mesma caixa em havia começado anteriormente. Se o participante sempre inicia uma busca do mesmo ponto de partida, infere-se que o sujeito esteja empregando uma

		<p>estratégia planejada para encontrar os <i>tokens</i>. Assim, uma pontuação baixa indica alto uso de estratégia (1 = os participantes sempre começam a pesquisa na mesma caixa). Uma pontuação alta indica que eles estão iniciando suas pesquisas em muitas caixas diferentes. O SWMS é calculado em ensaios avaliados com 6 tokens ou mais.</p>
--	--	---

Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition.

#### 5.5.4.3. Paired Associates Learning (PAL)

O *Paired Associates Learning* avalia a memória visual e o novo aprendizado. Testa o aprendizado associativo visual e a memória e fornece informações sobre as habilidades de memória episódica dos participantes. Seu tempo de administração é de aproximadamente 10 minutos.

A utilização do teste no estudo foi baseada ao se considerar que a memória episódica tem sido referida como uma das mais afetadas pelo envelhecimento normal (156). Nesse sentido, ao associar aprendizagem visual e memória, julgamos possível que o desempenho no teste pudesse gerar resultados importantes que possibilitassem inferir sobre a percepção e a produção musical dos idosos participantes do estudo. O teste inicia com a exibição de várias caixas ao redor da borda da tela, as quais são abertas em ordem aleatória para revelar um padrão ou nada. Ao serem abertas, uma ou mais caixas apresentam um padrão em seu interior, que deverão ser memorizados pelo participante. Os padrões são exibidos no meio da tela, um de cada vez. O participante deverá selecionar a caixa em que o padrão foi originalmente localizado. Na ocorrência de erros, as caixas são abertas em sequência novamente, em seus respectivos locais, para que o participante se lembre em quais caixas os padrões estavam localizados. A tarefa torna-se progressivamente mais difícil à medida que o teste avança, sendo iniciada com 2 padrões e encerrada com 8 padrões. As medidas de resultado incluem os erros cometidos pelo participante, o número de tentativas necessárias para localizar os padrões corretamente, escores de memória e os estágios

concluídos. A Figura 10 ilustra o *Paired Associates Learning* e o Quadro 3 apresenta as principais medidas de desfecho do referido teste.

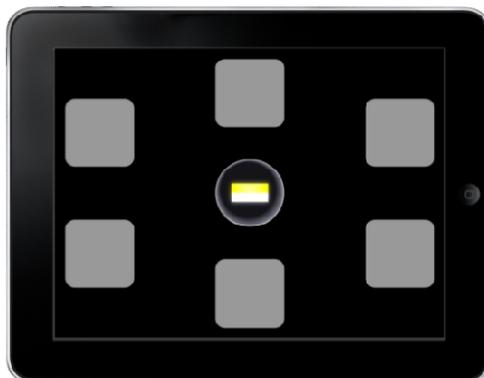


Figura 10. *Paired Associates Learning (PAL)*, ou aprendizado pareado associado. Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition. Inicialmente padrões visuais abstratos coloridos são apresentados em caixas no centro da tela. O nível de dificuldade aumenta à medida que o teste avança, iniciando com 2 padrões por tentativa e concluindo com 8 padrões. Após a tentativa, o padrão novamente é apresentado ao centro e o participante deverá tocar a caixa em que ele havia aparecido inicialmente.

Quadro 3. Principais medidas de desfecho - PAL

<b>SIGLA</b>	<b>SIGNIFICADO</b>	<b>DESEMPENHO MENSURADO</b>
<b>PALTEA</b>	PAL – Total de erros ajustado	Número de vezes em que o participante escolheu a caixa incorreta para um estímulo (PALTE), mais um ajuste para o número estimado de erros que teria cometido em quaisquer problemas, tentativas e evocações que o participante não tenha alcançado. Essa medida permite comparar o desempenho dos erros cometidos entre todos os participantes, independentemente de ter encerrado o teste mais cedo ou mais tarde (em seu último estágio).
<b>PALFAMS</b>	PAL – Escore de memória na primeira tentativa	Número de vezes em que um participante escolheu a caixa correta na sua primeira tentativa, ao evocar os locais em que cada padrão foi mostrado. Calculado ao longo de todas as tentativas.

<b>PALMET</b>	PAL – Número de erros até o sucesso	Número médio de tentativas feitas por um participante para que conclua com êxito um dos estágios da tarefa. Depende, em parte, do estágio a que o participante chegou.
---------------	-------------------------------------	--

Fonte: Adaptado de Cambridge Cognition.

### 5.5.5. O Harvard Beat Assessment Test (H-BAT)

Para identificar as nuances rítmicas dos sujeitos da pesquisa a presente investigação utilizou o instrumento H-BAT (106), que consiste em uma bateria de testes utilizada para avaliar habilidades de percepção, produção e sincronização com uma batida de música, e as diferenças inter-individuais. O H-BAT consiste em quatro subtestes: (1) teste de toque musical (MTT), (2) teste de saliência de batida (BST), (3) teste de intervalo de batida (BIT) e (4) teste de batida e descoberta de intervalo (BFIT). O MTT mede o grau de sincronização da batida com a batida da música, enquanto o BST, o BIT e o BFIT medem os limiares de percepção e produção através de métodos psicofísicos (106). No presente estudo foram utilizados apenas o MTT, BIT (percepção) e o BFIT (percepção).

Neste estudo, o teste compôs-se de três etapas: na primeira etapa foi aplicado o teste MTT, que avalia a habilidade de sincronização com uma batida musical e testa a capacidade do participante de tocar com a batida das músicas apresentadas. O segundo teste aplicado foi o BIT (percepção), em que se avaliou a capacidade básica de sincronização com um metrônomo, cujas batidas apresentavam andamentos distintos. Os participantes ouviram cada trecho sem tocar e decidiram se os bipes apresentavam andamentos que aceleravam ou diminuíam o andamento. A ordem dos estímulos foi aleatória para cada participante. Enquanto ouviram um trecho, os participantes pressionaram um botão assim que fizeram seu julgamento. O tempo necessário para fazer o julgamento foi quantificado. Os participantes foram instruídos a não moverem o corpo para manter o ritmo. O terceiro teste aplicado foi BFIT, que possui os mesmos subtestes do BIT, porém, com células rítmicas distintas (mais elaboradas).

O H-BAT tem sido utilizado com o objetivo de identificar e diferenciar as deficiências no processamento de batidas (ANEXOS 5 e 6). Destina-se a examinar diretamente a percepção da batida e a sincronização. O teste avalia

tanto a capacidade de sincronizar uma batida musical, bem como a capacidade de perceber uma batida, independentemente da sincronização. Seus objetivos iniciais são: 1) estudar a distribuição das capacidades de processamento na população baseadas no *beat*; 2) fornecer uma maneira de procurar por "surdez do ritmo" em indivíduos que, embora não sejam surdos apresentam problemas com o processamento de batidas na música. O H-BAT foi concebido para permitir a possibilidade de dissociação entre processos perceptivos e motores testando a percepção da batida, sem exigir que o ouvinte expresse a batida através do movimento. Tem foco na sincronização com passagens musicais de uma variedade de gêneros. Inclui vários subtestes: espontâneo, toque, sincronização para um metrônomo, sincronização para passagens musicais e um teste de percepção de batida em passagens musicais (157). Na sequência, serão apresentados de maneira detalhada os testes MTT, BIT e BFIT.

#### 5.5.5.1. Music Tapping Test (MTT) ou Teste de escutas musicais.

O *Music Tapping Test (MTT)* foi projetado com base na idéia de que o grau de sincronização com a batida musical poderia representar uma medida para avaliar a capacidade de sincronização sensório-motora. O MTT mede a capacidade individual de sincronizar o movimento do tapping com a batida musical utilizando trechos musicais (106).

Trata-se de um teste de sincronização rítmica no qual são apresentados 3 gêneros musicais (rock, jazz e pop) para que o participante toque o dedo indicador direito em 4 batidas, acompanhando a pulsação rítmica da música. O participante deve tocar forte e claramente com o dedo indicador direito no centro da tela circular que aparece para cada música. Para cada toque, o dedo deve ser levantado imediatamente (106).

As músicas utilizadas para a sincronização no teste de escuta musical (MTT) são: *Hurts So Good*, de J. Mellencamp (estilo rock, duração = 14 s), *Tuxedo Junction*, de Glenn Miller (estilo jazz, duração = 16 s) e *A Chorus Line*, de Boston Pops (pop-estilo orquestrado, duração = 14 s). Cada música é apresentada em 100, 120 e 140 BPMs, representando os andamentos lento, médio e rápido. Dessa forma, o teste apresenta 9 estímulos musicais, sendo 3 BPMs para cada um dos estilos de música (ou seja, 3 BPMs x 3 estilos musicais: rock, pop e jazz). Como cada participante terá 2 tentativas para cada

andamento, totalizam-se 18 ensaios no teste MTT (ou seja, 3BPMs x 3 estilos musicais x 2 tentativas) (106).

No teste existem 3 índices de sincronização: 1)  $SI_{ARV}$  - referente ao ângulo do vetor resultante; 2)  $SI_{LRV}$  - comprimento do vetor resultante; 3)  $SI_{ENT}$  - entropia da distribuição de fase relativa. O primeiro índice refere-se a uma medida de precisão de sincronização enquanto os dois últimos são medidas de consistência de sincronização. Quando os toques de dedos (*taps*) precedem os tempos de batidas, o  $SI_{ARV}$  é negativo, caso contrário é positivo. O  $SI_{LRV}$  varia de 0 a 1 e quanto mais consistente for o toque do participante com determinada fase em relação aos tempos de batida (*beat timings*) maior se tornará o valor. Por outro lado, se o participante realiza as batidas aleatoriamente sem considerar os tempos de batida, os valores se tornam menores (106).

O teste conta com uma sessão de treino, anterior ao seu início, na qual são apresentados os 3 gêneros musicais em andamentos originais para que o participante toque as 4 batidas de acordo com a pulsação das músicas. As batidas devem ocorrer até o final da apresentação das músicas. Após 3 tentativas, aparece uma janela “*pop-up*” e o participante tem a opção de repetir o treino ou avançar para o teste. Na sessão de teste, são apresentados os 18 ensaios, sendo apresentados os 3 gêneros em 3 andamentos diferentes, sem intervalos durante a sessão (106). A figura 11, abaixo, retrata o teste MTT.

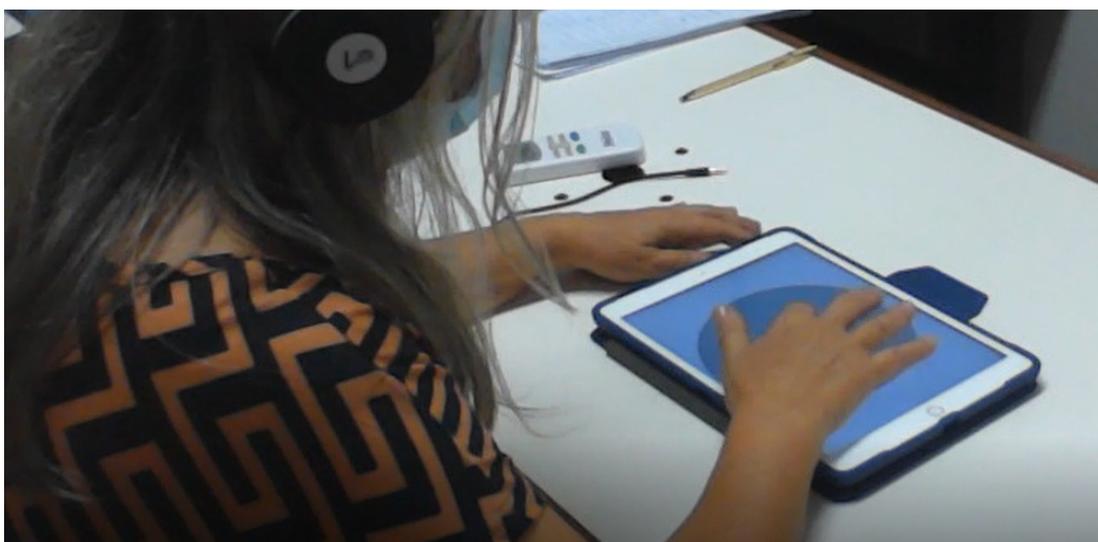


Figura 11. Aplicação do teste H-BAT - MTT

Fonte: Pesquisa atual (2022). Legenda: o participante deve sincronizar o dedo indicador direito com a pulsação da música ouvida.

### 5.5.5.2. Beat Interval Test (BIT) ou Teste de Intervalo de Batida

O Beat Interval Test (BIT) foi desenvolvido com base na ideia de que a produção de mudanças graduais no andamento da música pode ser uma medida útil para a investigação de diferenças individuais no processamento da batida e a capacidade de adaptação dos movimentos a mudanças temporais do metrônomo, considerando-se que acelerar (*accelerando*) ou desacelerar (*ritardando*) indicam mudanças de andamento cuja realização precisa demanda uma grande exigência (106).

O teste possui uma tarefa de produção e outra de percepção de batidas. Na presente pesquisa foram utilizados apenas os testes de percepção. O som de uma batida de metrônomo é reproduzido. Dois padrões de mudança de andamento são apresentados, sendo um mais rápido e outro mais lento. No teste de percepção, o participante terá duas alternativas de escolha forçada e deverá escolher entre dois quadrados apresentados na tela com as palavras *faster* ou *slower*, nas cores rosa e azul e depois clicar em *enter* e responder como o andamento muda (se acelerou ou diminuiu o andamento). Quando o andamento acelera, o participante deverá tocar no retângulo rosa (*faster*) com o dedo indicador esquerdo e em seguida no retângulo preto (*enter*). Quando o andamento diminui, o participante deverá tocar no retângulo azul (*slower*) com o indicador direito e a seguir no preto (*Enter*). Antes de cada tentativa começar, é reproduzido o som de bipe e em seguida, o metrônomo começa a tocar (106).

As figuras utilizadas na tarefa com padrões de mudança temporal (*ritardando* ou *accelerando*) foram repetições de semínimas, conforme demonstradas na Figura 12, abaixo.

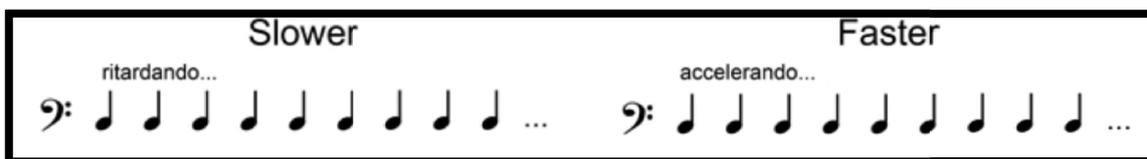


Figura 12. Figuras rítmicas utilizadas no Teste BIT.  
Fonte: Adaptado de Fujii & Schaug (2013) (106).

### 5.5.5.3 Beat Finding and Interval Test (BIFT) ou Teste de descoberta de batida e teste de intervalo

O teste *Beat Finding and Interval Test* (BIFT) foi desenvolvido com o propósito de adicionar ao teste BIT um componente de localização do batimentona investigação das diferenças no processamento das batidas entre os indivíduos (106). O BFIT é muito semelhante ao BIT e também possui um teste de produção e um de percepção. A presente pesquisa analisou apenas o teste de percepção. A sequência dos testes é a mesma, o que diferencia os dois testes é apenas a sequência das figuras rítmicas que são apresentadas nas batidas. Enquanto no teste BIT são utilizadas apenas sequências de semínimas com acelerando ou ritardando, no BFIT, são utilizadas semínimas, colcheias e semínimas pontuadas. A sequência das figuras que são repetidas no BFIT: uma semínima, duas colcheias, uma semínima pontuada e uma colcheia, podem ser observadas na Figura 13, abaixo.

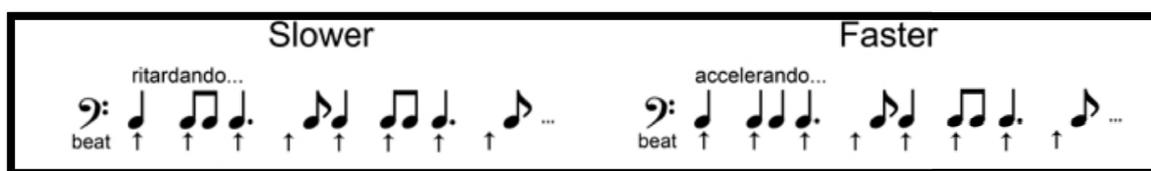


Figura 13. Padrão rítmico do teste BIFT (percepção).  
Fonte: Adaptado de Fujii & Schaug (2013). (106)

No teste de percepção do *Beat Finding and Interval Test* (BIFT) há um método de "duas alternativas de escolha forçada", o participante deve discriminar e responder como o andamento muda. Se o tempo ficar mais rápido, deverá tocar no botão esquerdo com o dedo indicador da mão esquerda, se o andamento está ficando mais lento, deverá tocar no botão direito com o dedo indicador da mão direita e após, tocar no botão "Enter" com os respectivos dedos polegares. Antes de cada tentativa começar, um som de bipe é reproduzido e, em seguida, o metrônomo (106).

Na sessão de treino há duas tentativas, uma com andamento lento e outra com andamento mais rápido. Após duas tentativas, o participante poderá repetir o treino ou avançar para a sessão de teste. No teste de produção, os participantes deverão tocar dentro do círculo que aparece no centro da tela

com o dedo indicador direito. Antes de cada tentativa começar, é reproduzido um som de bipe e, em seguida, o metrônomo (106).

As Figuras 14 e 15 retratam as tarefas de percepção dos testes BIT e BFIT.

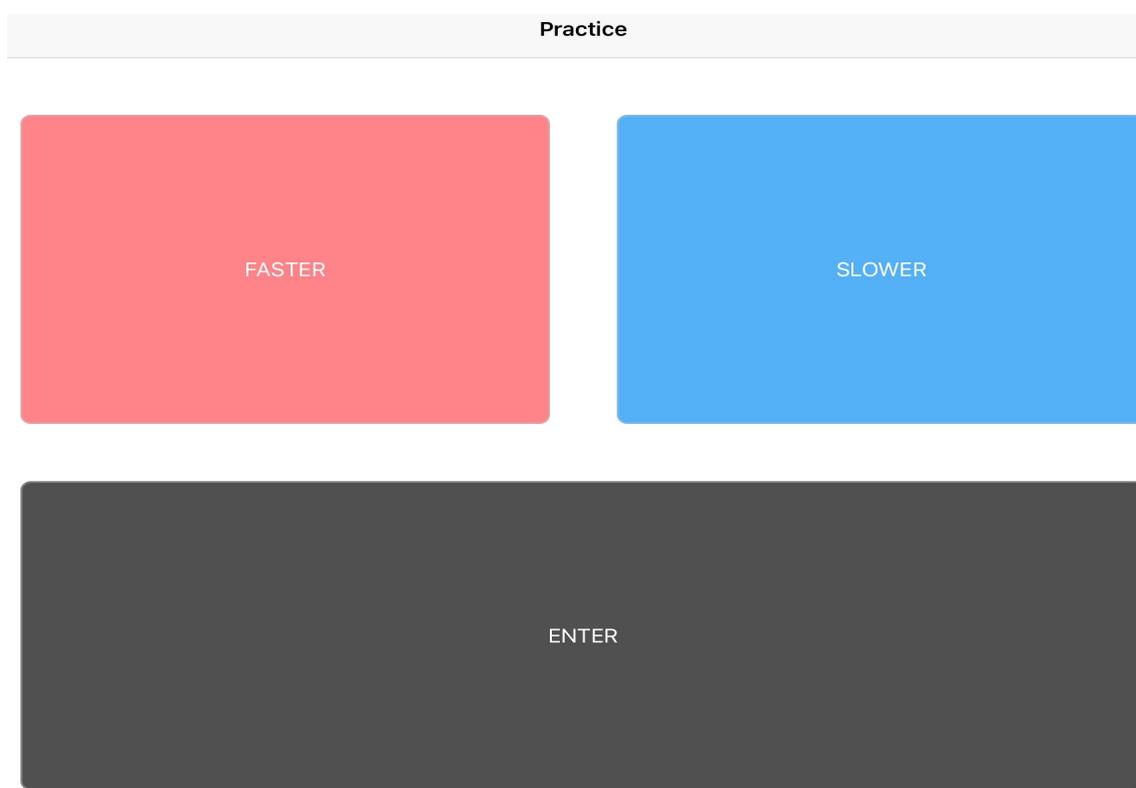


Figura 14. Tela do iPad para a tarefa de percepção dos testes BIT e BFIT.

Fonte: Teste H-BAT (Fujii & Schlaug, 2013) (106). Legenda: O participante deve ouvir os bipes do metrônomo e identificar se o andamento ficou mais rápido ou mais lento. Quando o andamento acelera, o participante deverá tocar no retângulo rosa (*Faster*) com o dedo indicador esquerdo e no retângulo preto (*Enter*) com o polegar esquerdo. Quando o andamento diminui, o participante deverá tocar no retângulo azul (*Slower*) com o indicador direito e a seguir, no preto (*Enter*).

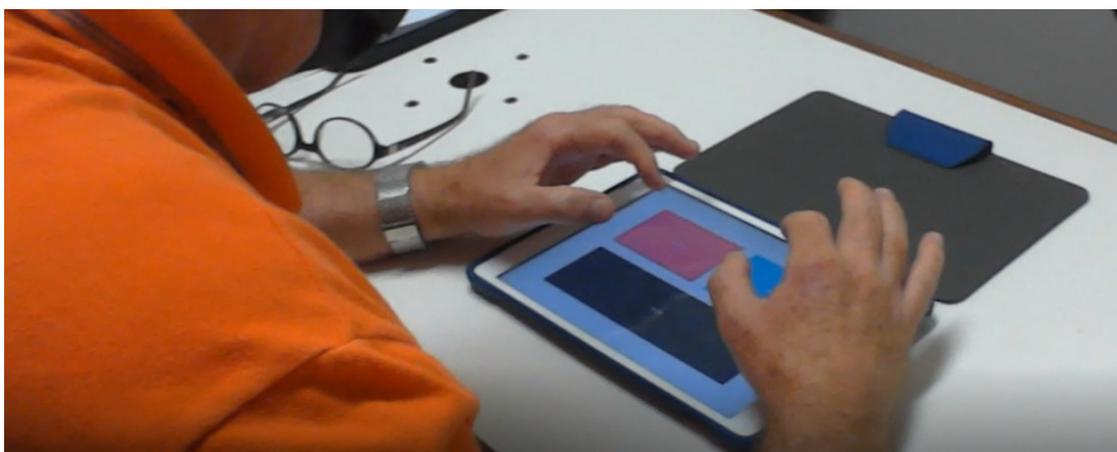


Figura 15 -Teste de percepção dos testes BIT e BFITFonte: Pesquisa (2022). Legenda: O participante deve ouvir os bipes do metrônomo e identificar se o andamento ficou mais rápido ou mais lento. Quando o andamento acelera, o participante deverá tocar no retângulo rosa (*faster*) com o dedo indicador esquerdo e no preto (*Enter*) com o polegar esquerdo. Quando o andamento diminui, o participante deverá tocar no retângulo azul (*slower*) com o indicador direito e a seguir no preto (*Enter*).

### 5.5.6. SEQTAP – Sequential Finger Tapping Task

A tarefa *Sequential Finger Tapping Task* (SEQTAP) é uma das tarefas mais utilizadas para medir o toque motor (*tapping*) em indivíduos saudáveis. Trata-se de uma tarefa de aprendizagem de sequência motora na qual o participante digita, pressionando as teclas correspondentes de um teclado de computador, uma sequência de 5 dígitos, entre os números 1 a 4, com a mão não dominante (conforme a Figura 16). A digitação deve ser realizada da forma mais rápida e precisa possível (39). A tarefa SEQTAP é uma das tarefas mais utilizadas para medir o “tapping” motor (batida motora) em indivíduos saudáveis. As tarefas foram realizadas com a mão não-dominante (mão esquerda), tendo sido programadas com o E-Prime 2.0 *Professional Single*.

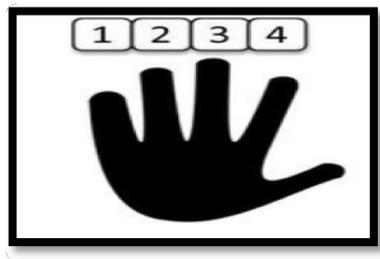


Figura 16. Dedos utilizados na digitação do teste SEQTAP. Fonte: Adaptado de Cellini (2017).

#### 5.7.5.1 Procedimento da tarefa SEQTAP

Sentados em uma cadeira, com os braços apoiados à mesa, tendo o computador à frente, os participantes foram instruídos a digitar de maneira mais precisa e rápida possível, uma sequência de 5 elementos de movimentos dos dedos com a mão esquerda (não dominante), utilizando as teclas do computador correspondentes aos números 1234. Uma única sequência numérica (41324) foi digitada. As instruções foram dadas antes do teste, oralmente e visualmente, tendo sido escritas na tela do computador para que o participante acompanhasse por meio de leitura (verificar instruções no APÊNDICE D). Os participantes realizaram o SEQTAP duas vezes a cada

semana, ou seja, uma sessão antes e outra após a aplicação da tDCS, conforme explicitado no procedimento. Cada participante realizou uma sessão de treino e outra de teste a cada sessão. A sessão de treino foi composta por 10 tentativas e a de teste por 30 tentativas. A Figura 17 retrata a prática do teste SEQTAP e a Figura 18 ilustra o procedimento do teste.

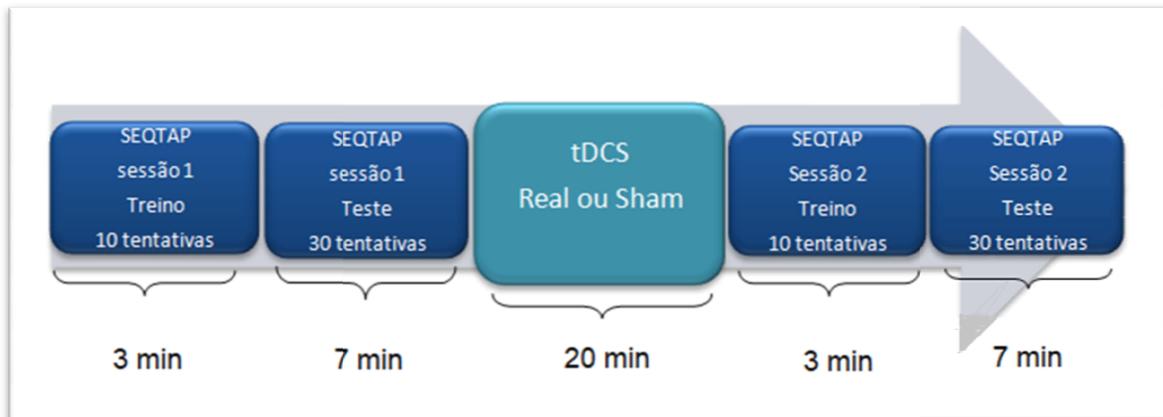


Figura 17. Sessões do teste SEQTAP nas duas semanas.  
Fonte: Pesquisa (2022).

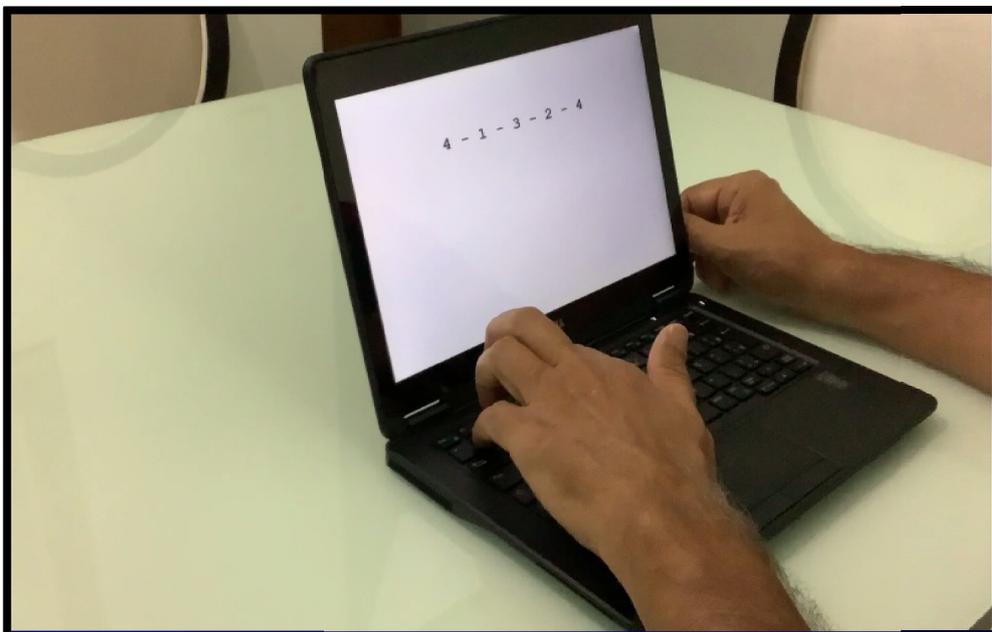


Figura 18. Prática do teste SEQTAP.  
Fonte: Dados da Pesquisa (2022).

## 5.6. PROCEDIMENTO

Na primeira sessão, após a chegada do participante ao Laboratório de Neurociência e Comportamento, ou após a chegada da pesquisadora na residência do participante, foram fornecidas todas as informações sobre o projeto para que ele pudesse proceder a assinatura do Termo de Consentimento Livre Esclarecido - TCLE (APÊNDICE A) e o Termo de Autorização para Utilização de Imagem e Som de Voz para fins de pesquisa (APÊNDICE B). Em seguida, o participante foi solicitado a preencher a ficha de informações demográficas – FID, (APÊNDICE C), a responder ao Inventário de Edimburgo (ANEXO 2). Na sequência, ele foi solicitado a realizar o teste *Montreal Cognitive Assessment* - MoCA (ANEXOS 3 e 4). Posteriormente, foi realizada a avaliação das funções executivas, no caso, STROOP, MOT, SWM e PAL, avaliação rítmica por meio do H-BAT e o SEQTAP. Ou seja, os participantes realizaram o teste de STROOP, o CANTAB (MOT, SWM e PAL), o SEQTAP e o H-BAT (MTT, BIT e BFIT) em duas sessões, separadas por um período de uma semana. Dentro de cada sessão foram realizados um teste pré e um teste pós-tDCS, apenas para os testes H-BAT e SEQTAP. Tais testes foram realizados antes e após a estimulação por tDCS anódica, que foi aplicada por 20 minutos a 2mA no cerebelo direito e na área motora esquerda (M1), de acordo com o sistema internacional de EEG 10-20, área C3. A escolha da região estimulada em cada uma das sessões foi realizada de forma aleatória entre os participantes.

O procedimento duplo-cego para aplicação da tDCS foi realizado pela pesquisadora principal e auxiliado por duas estudantes de graduação previamente treinadas na aplicação do protocolo. Para se determinar do tipo da estimulação (real ou “sham”) em cada semana, foi realizada, na primeira semana, antes de cada coleta, pelas estudantes que acompanharam a pesquisadora, uma escolha aleatória com a utilização de uma moeda. Ao ser lançada sobre uma superfície observava-se “cara” ou “coroa”, onde o primeiro resultado determinava a inclusão do participante na estimulação (real na primeira semana e “sham” na segunda semana) e o segundo selecionava o participante para a estimulação (“sham” na primeira semana e real na segunda semana). O mesmo ocorreu para as áreas estimuladas (cerebelo ou área motora – M1). Ao receber a estimulação, o aparelho de tDCS era colocado em

um local às costas do participante, fora de seu campo de visão. Da mesma forma que o participante, a pesquisadora também não conseguia visualizar se a estimulação aplicada no participante era do tipo real ou “sham”.

Quando a estimulação era real, o aparelho era ligado em uma potência de 2mA por 20 minutos, quando era “sham”, o aparelho era ligado na mesma potência por apenas 2 minutos. A seguir, a estagiária voltava lentamente o botão ao zero, porém, o aparelho continuava ligado. É importante salientar que todo esse procedimento era devidamente realizado pela estagiária com a pesquisadora principal de costas para o aparelho de tDCS.

O procedimento para aplicação da tDCS consistiu em embeber os eletrodos em soro fisiológico, sendo o excesso eliminado com papel toalha. Em seguida, procedia-se com a colocação do ânodo de acordo com a área selecionada, sendo este afixado na cabeça do indivíduo com uma faixa de tecido, enquanto o cátodo era posicionado no músculo trapézio contralateral (ombro) e afixado com uma fita adesiva hipoalergênica.

Após aproximadamente 1h de cada sessão, foi realizado um intervalo de 10 minutos a fim de evitar a fadiga do participante. Anteriormente e após a estimulação por tDCS, foi aplicado o teste do H-BAT para fins de observação do desempenho do sujeito em termos de percepção e produção rítmica. Destaca-se que o protocolo escolhido foi baseado em estudos anteriores, tais como o de Sanchez-Kun (2018), que também teve como participantes indivíduos idosos músicos e não músicos, tendo sido realizada a administração da tDCS anódica e catódica sobre o córtex motor primário (19). O protocolo do presente estudo pode ser observado na Figura 19.

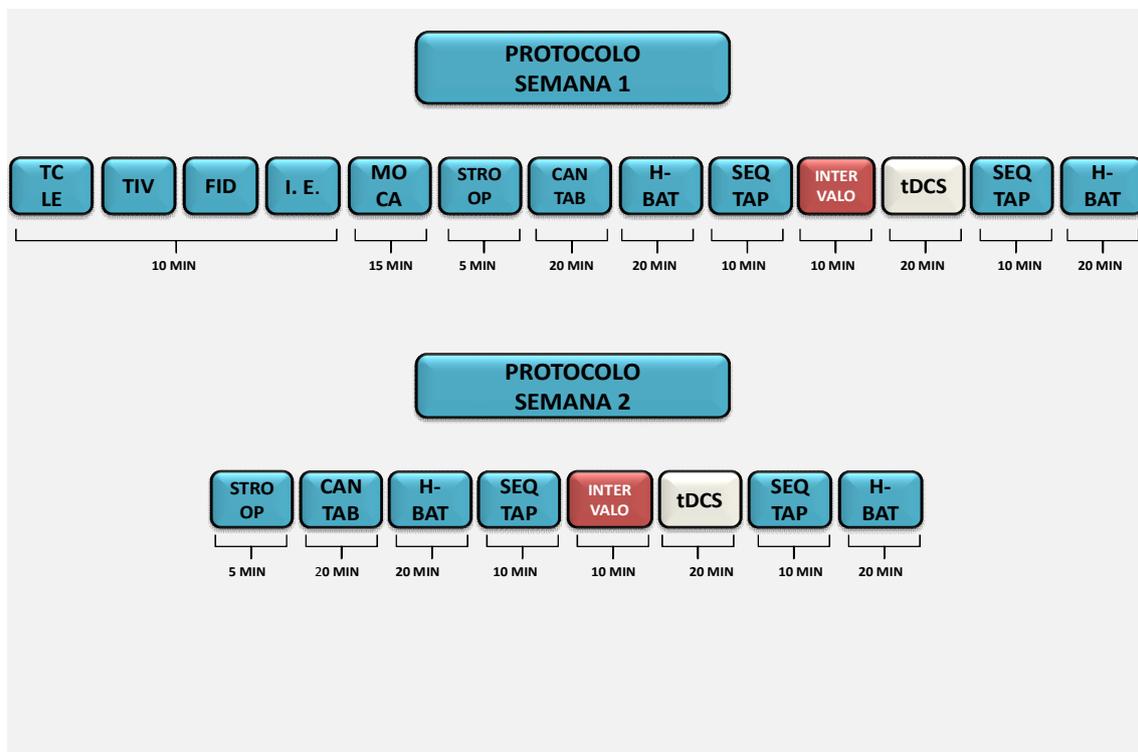


Figura 19. Protocolo experimental realizado no estudo. O participante que recebeu tDCs real na semana 1, recebeu estimulação “sham” na semana 2 e vice-versa. Legenda: TCLE: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido; TIV: Termo de cessão de uso de Imagem e/ou Voz; FID: Ficha de informações demográficas; I.E: Inventário de Edinburgh.

## 5.7. EQUIPAMENTOS

### 5.7.1. Tdcs-Transcranial Direct Current Stimulation ou Estimulação Transcraniana por Corrente Contínua

A estimulação transcraniana por corrente contínua foi administrada com um aparelho tDCS 4mA Max Power Apex Tipo A - Sistema Analógico de Nível Profissional, conforme demonstrado na Figura 20.



Figura 20. Aparelho de tDCS com esponjas(ânodo e cátodo).  
Fonte: aparelho utilizado na presente pesquisa.

Abaixo, exemplo de um participante com a aplicação de tDCS na área motora (Figura 21).



Figura 21. Aplicação de tDCS na área motora.  
Fonte: Dados da atual pesquisa (2022).

### **5.7.2. Software, Equipamentos e Programas Computacionais**

Os testes (STROOP e SEQTAP) foram realizados com a utilização de um computador da marca Dell, XPS com as seguintes especificações: processador Intel (R) Core I7(PM), 6560U CPU @ 2.20 GHz 2.21 GHz; memória RAM 16 GB; sistema operacional de 64 bits. Para a realização dos testes CANTAB e H-BAT foi utilizado o iPad Apple, modelo iPad (8ª geração), versão do Software 14.5.1 modelo: No MYLE2LL/A, Número de Série GG7DG659Q1GH.

### **5.8. ANÁLISE DE DADOS**

A presente pesquisa utilizou como variáveis independentes: 1) As condições: semana 1 e semana 2, pré e pós-tDCS; 2) A ordem de estimulação: “sham” ou real; 3) A área estimulada: área motora ou cerebelo.

Na análise descritiva e correlações consideramos como variáveis independentes as características musicais da amostra, tais como: o tempo de treinamento musical (mensurado em meses), o treinamento rítmico, a idade

cronológica, a idade de início de treinamento, o número de horas praticadas por semana e por dia, a idade e a neuromodulação por tDCS.

As variáveis dependentes consideraram o desempenho dos participantes nos testes de funções executivas, a capacidade de sincronização sensório-motora (H-BAT), a percepção rítmica (H-BAT) e o desempenho na tarefa de aprendizagem motora (SEQTAP).

Todas as análises estatísticas foram realizadas no programa IBM® SPSS® Statistic, v.18. Os dados relativos às informações demográficas e características musicais da amostra (sexo, idade, escolaridade, tempo de treinamento, entre outros) foram apresentados utilizando-se estatística descritiva, considerando as frequências relativas e absolutas (n e %) para as variáveis qualitativas, e valores da média e desvio-padrão, mediana e desvios interquartis para as variáveis quantitativas.

Os dados de tempo de reação (TR) para os testes SEQTAP e o MOT, foram apresentados em milissegundos. A média de tempo de reação apresentada foi bastante elevada no teste SEQTAP, provavelmente, em virtude das características da amostra, composta por idosos. Por essa razão, os dados foram apresentados pela constante matemática  $e^4$ .

Os dados brutos, obtidos a partir dos testes aplicados e seus respectivos resíduos, foram testados quanto à normalidade e à homogeneidade da variância, mediante o teste de Shapiro-Wilk e o teste de Levene, respectivamente. Essas análises iniciais foram realizadas, pois são pressupostos importantes para a realização das comparações estatísticas utilizando testes paramétricos, como o Teste t-student e a ANOVA. Também foi realizada a identificação e retirada dos valores extremos (*outliers*) da amostra quando necessário, para cada teste aplicado.

Os testes MoCA, STROOP, CANTAB e SEQTAP apresentaram dados, em sua maioria, baseados na soma dos acertos, erros e/ou omissões nas tentativas ou no tempo de resposta. A natureza desses dados apresenta uma tendência natural de distribuição assimétrica mesmo quando retirados de uma população amostral normal. Isso ocorre devido à concentração dos valores próximos aos limites da distribuição, ou seja, muitos acertos ou poucos erros. Tal característica exerce influência na normalidade dos dados. Ainda assim, o Teorema do Limite Central nos indica que a distribuição da média de dados de qualquer distribuição se aproxima da distribuição normal conforme o tamanho

amostral aumenta. Embora alguns dos subgrupos analisados não tenham seguido esse tipo de distribuição, acreditamos que isso tenha ocorrido devido ao pequeno tamanho amostral. De modo geral, buscamos aplicar os testes paramétricos apenas para os dados que apresentaram pelo menos um dos critérios, relativos à homogeneidade e normalidade dos dados.

Inicialmente, as comparações realizadas para os testes de STROOP, CANTAB, SEQTAP e H-BAT foram relacionadas às

possíveis diferenças entre as semanas experimentais ou entre as seções pré e pós-tDCS. Essa análise foi realizada primeiramente para todos os participantes com ou sem treinamento musical, independentemente da área estimulada ou da ordem de estimulação (“sham”/real e real”/sham”). Posteriormente, essa análise foi realizada para os grupos com ou sem treinamento musical que receberam estimulação na área motora ou no cerebelo. Utilizamos o teste t para amostras pareadas (t) ou o teste de Wilcoxon (Z), para os dados normais e não-normais, respectivamente. Esses testes foram escolhidos, uma vez que essas comparações utilizavam medidas repetidas entre os grupos. Todos esses testes utilizaram nível de significância de 0,05.

Em um segundo momento, comparamos os grupos de participantes com ou sem treinamento musical quanto à ordem de estimulação, e essa mesma análise foi realizada para os grupos que receberam estimulação na área motora ou no cerebelo. As comparações entre os grupos amostrais, previamente citados, foram realizadas com a ANOVA de um fator (*One-way ANOVA*) (F), para os dados paramétricos e o teste de Mann-Whitney (U), para os dados não-paramétricos. Novamente, todos os testes utilizaram nível de significância de 0,05. Esses testes foram escolhidos, uma vez que, o objetivo principal do estudo era verificar o efeito da tDCS, que estava diretamente relacionado à ordem de estimulação ao qual cada grupo foi submetido.

Embora o valor de  $p \leq 0,05$  seja amplamente utilizado como indicativo de significância estatística, esse valor nem sempre é indicativo de um efeito relevante. Por ser bastante influenciado pelo tamanho amostral, a interpretação do valor de p deve ser realizado em conjunto com o tamanho do efeito, que nos ajuda a entender a magnitude do efeito analisado (159). Dessa forma, o cálculo do efeito agrega informações às significâncias estatísticas.

No presente estudo, as comparações foram realizadas em diversos subgrupos com tamanhos amostrais variados, por isso, foram realizados cálculos de tamanho de efeito tanto para os testes não-paramétricos, quanto para os testes paramétricos.

O tamanho do efeito do teste Mann-Whitney e do teste de Wilcoxon, considerado para o estudo, foi o valor de  $r$  calculado com base na fórmula descrita a seguir:

$$r = \frac{z}{\sqrt{N}}$$

Nesta fórmula encontramos o valor  $z$ , calculado na estatística do teste, dividido pela raiz quadrada de  $N$ , que é o tamanho amostral total, ou seja, a soma dos dois grupos analisados. A interpretação para o tamanho do efeito  $r$  foi realizada com base na sugestão de classificação proposta por Cohen (1988), que considera efeitos grandes aqueles que apresentam valor de  $r > 0,5$ . (159).

Para os testes paramétricos, utilizamos o tamanho de efeito  $g$  de Hedges, que é uma correção para o  $d$  de Cohen. O tamanho de efeito  $d$  de Cohen é baseado no tamanho da média, utilizado para grupos com variâncias iguais e tamanhos amostrais grandes ( $n > 20$ ). No presente estudo, no entanto, os tamanhos amostrais dos subgrupos analisados eram pequenos ( $< 20$ ) e muitas vezes os grupos apresentavam tamanhos distintos, por isso, foram utilizados o  $g$  de Hedges.

O  $g$  de Hedges utilizado para a ANOVA de um fator, que analisa dois grupos independentes, foi calculado com base na fórmula do  $d$  de Cohen e posteriormente corrigida. Dessa forma, a seguir vemos a descrição das fórmulas utilizadas:

$$d \text{ de Cohen} = \frac{M_1 - M_2}{DP_{\text{Combinado}}}$$

O  $d$  de Cohen é calculado pela subtração das médias dos grupos analisados, dividido pelo desvio padrão combinado, que é dado pela fórmula abaixo:

$$DP_{\text{Combinado}} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) \cdot DP_1^2 + (n_2 - 1) \cdot DP_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

O DP combinado leva em consideração os tamanhos amostrais dos grupos analisados e seus desvios padrões. E por fim, temos a fórmula do  $g$  de Hedges que realiza uma correção para o valor do  $d$  de Cohen.

$$g \text{ de Hedges} = d \text{ de Cohen} \times \left( 1 - \frac{3}{4(n_1 + n_2) - 9} \right)$$

Por fim, para os dados que foram analisados com o teste  $t$  para amostras pareadas, utilizamos como tamanho de efeito  $g_{av}$  de Hedges, novamente, uma correção do  $d_{av}$  de Cohen, devido ao tamanho amostral pequeno. Essas estatísticas foram baseadas nos valores da média dos grupos amostrados, por isso, apresentam algumas variações nas fórmulas utilizadas. Ainda assim, ao longo do texto, relatamos esse tamanho de efeito apenas pela letra “ $g$ ”.

As fórmulas utilizadas são apresentadas a seguir:

$$d_{av} \text{ de Cohen} = \frac{M_{Pós} - M_{Pré}}{\frac{DP_{Pré} + DP_{Pós}}{2}}$$

Para o  $d_{av}$  de Cohen, a principal diferença é que agora a subtração das médias é baseada nos dados pré e pós-intervenções. No presente estudo, essas situações seriam as duas semanas experimentais ou os eventos pré e pós-tDCs. Além disso, a divisão dessas médias pela soma dos desvios padrões divididos por dois, também leva em consideração esses valores pré e pós intervenção. O valor de  $g_{av}$  de Hedges segue a mesma correção apresentada anteriormente.

$$g \text{ de Hedges} = d \text{ de Cohen} \times \left( 1 - \frac{3}{4(n_1 + n_2) - 9} \right)$$

As interpretações para os tamanhos de efeito, calculados para os testes paramétricos, tiveram como base a sugestão de classificação proposta por Sawilowsky (2009), que consideram efeitos muito grandes aqueles que apresentam valor de  $g > 1,2$ . Todos os efeitos descritos devem ser interpretados, independentemente, se seus valores apresentam sinais negativos. Esse valor negativo indica que um grupo é maior que o outro,

portanto, não devemos levá-lo em consideração na interpretação (160). As fórmulas descritas dos tamanhos de efeitos, para os testes paramétricos utilizaram como referência o artigo do Lakens (2013) (161).

Posteriormente, foram analisadas possíveis relações entre os dados demográficos e musicais da amostra com as principais medidas de desfecho dos testes aplicados. Essa análise foi realizada mediante o cálculo do coeficiente de correlação de Spearman ( $\rho$ ), para os dados paramétricos e a correlação de Pearson ( $\rho$ ), para os dados não-paramétricos. Todas as correlações utilizaram nível de significância de 0,05.

Uma descrição mais detalhada sobre as análises estatísticas realizadas para o teste H-BAT, é apresentada a seguir. Os dados do instrumento H-BAT foram registrados durante as duas semanas experimentais, antes e após a tDCS, para os grupos com e sem treinamento musical. Dessa forma, as variáveis dos três subtestes do H-BAT: MTT, BIT e BFIT foram analisadas quanto à sua normalidade, pelo teste de Shapiro-Wilk. Os índices de sincronização (SIs) do subteste MTT, que obedeceram ao critério de distribuição normal para os participantes com treinamento musical foram o  $SI_{ENT}$ , no período pré e pós a tDCS, na primeira ( $D_{25} = 0,92\sim 0,98$ ,  $p=0,06\sim 0,94$ , respectivamente) e na segunda semana ( $D_{25} = 0,94\sim 0,97$ ,  $p=0,16\sim 0,59$ , respectivamente). As variáveis  $SI_{ARV}$  e  $SI_{LRV}$  não atingiram o critério da normalidade, mas o teste de Levene demonstrou que esses dados eram homogêneos. Para os participantes sem treinamento musical, os testes mostraram que todos os SIs eram dados normais e homogêneos, exceto o  $SI_{LRV}$  ( $D_{25} = 0,89$ ,  $p=0,01$ ) pós-tDCS da primeira semana experimental, ainda assim, esse dado era homogêneo.

O limiar de percepção (per) dos subtestes BIT e BFIT avaliados nos períodos pré e pós tDCS, nas duas semanas experimentais, também não apresentaram dados normais para os participantes com e sem treinamento musical. Dessa forma, os dados desses subtestes foram transformados para a escala logarítmica de base 2. Após a transformação, todos os dados do BIT atingiram o critério da normalidade e homogeneidade para os participantes com treinamento musical ( $D_{25} = 0,96\sim 0,97$ ,  $p > 0,05$ ). Para os participantes sem treinamento musical, todos os dados eram homogêneos. No entanto, os dados pré-tDCS na primeira semana ( $D_{23} = 0,89$ ,  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS na segunda semana ( $D_{23} = 0,91$ ,  $p < 0,05$ ), não eram normais.

Os dados de BFIT para os participantes com treinamento musical, após a transformação logarítmica, passaram a ser normais e homogêneos ( $D_{25} = 0,91\sim 0,95$ ,  $p > 0,05$ ), exceto na sessão pré-tDCS da primeira e segunda semana ( $D_{25} = 0,92$ ,  $p < 0,05$ , para ambos) que eram não-normais. Para os participantes sem treinamento musical, todos os dados passaram a ser normais e homogêneos ( $D_{23} = 0,92\sim 0,97$ ,  $p > 0,05$ ).

Dessa forma, como a maioria dos dados atendeu pelo menos a um pré-requisito para a aplicação dos testes paramétricos e considerando o teorema do limite central, explicado anteriormente, as análises do H-BAT utilizaram testes t-Student ou ANOVAs nas suas análises.

Os períodos pré e pós tDCS foram comparados pelo teste t para amostras pareadas ou o teste não-paramétrico de Wilcoxon, com nível de significância de 0,05 ( $p < 0,05$ ). Análises comparativas da ordem de estimulação do tDCS, levando em consideração ou não a área estimulada, foram comparados entre si com a ANOVA de um fator ou o teste de Mann-Whitney ( $p < 0,05$ ).

## 6. RESULTADOS

### 6.1. CARACTERÍSTICAS SOCIODEMOGRÁFICAS DA AMOSTRA

Do total de 48 participantes da amostra, a menor idade dos participantes com treinamento musical foi 61 anos e a maior 84 anos, enquanto entre os participantes sem treinamento musical a idade mínima foi 60 anos e a máxima 86 anos. Do total da amostra, 04 (8,33%) eram solteiros, 31 (64,58%) eram casados ou em união estável, 08 (16,66%) eram separados e 05 (10,41%) eram viúvos. Embora todos os participantes residissem em Brasília-DF, nenhum deles nasceu na cidade. Em relação à moradia, 13 (27,08%) participantes residiam sozinhos, 15 (31,25%) moravam com a família conjugal e filhos, 17(35,41%) residiam com a família conjugal, sem filhos e 03 (6,25%) moravam com parentes e ou amigos. As principais profissões dos participantes envolveram as áreas da Educação (25%), da saúde (14,58%) e servidores públicos (14,58%). A maior parte da amostra (45 indivíduos) foi composta de aposentados (93,75%). Apenas 3 idosos (6,25%) trabalhavam ativamente. As características sóciodemográficas estão representadas na tabela 1.

As características musicais da amostra serão apresentadas a seguir, na Tabela 2. Ressalta-se que a idade de início de treinamento musical variou de 4 a 61 anos, enquanto o tempo de treinamento em anos variou de 2 a 73 anos.

Tabela 2. Características musicais da amostra (n=25) (continua)

Características musicais	Com treinamento musical	
	<i>Média ± Desvio Padrão</i>	
<b>Treinamentomusical</b>		
Idade de início	23,48 ± 20,20	
Tempo de treinamento (anos)	41,04 ± 25,06	
Treinamento/dia (horas)	1,70 ± 1,39	
Treinamento/semana (horas)	8,92 ± 8,79	
<b>Nível de instrução musical</b>	N	%
Intermediário (3-6 anos)	12	48
Avançado (acima de 7 anos)	9	36
Profissional	4	16
<b>Última vez que tocou</b>		
1 dia	17	68
2 a 3 dias	5	20

Tabela 2. Características musicais da amostra (n=25) (conclusão)

Características musicais	Com treinamento musical	
	N	%
Mais de 3 dias	3	12
<b>Instrumentos praticados</b>		
Metais	2	8
Madeiras	6	24
Cordas friccionadas	2	8
Cordas dedilhadas	4	16
Acordeom	3	12
Percussão	2	8
Piano	6	24

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

## 6.2. RESULTADOS DA AVALIAÇÃO DE DOMINÂNCIA MANUAL: INVENTÁRIO DE EDINBURGH

Os resultados das análises do teste de dominância revelaram que a maior parte dos participantes foi considerada destra. Ressalta-se que, embora os resultados apresentados no teste apresentem participantes ambidestros, todos os participantes se auto-declararam destros, critério pelo qual foram aceitos para participar da pesquisa.

A Tabela 3, abaixo, apresenta os escores dos participantes com e sem treinamento musical no teste “Edinburgh Handedness Inventory” – Adaptação portuguesa: Espírito-Santo et al. (2017) (118).

Tabela 3. Resultados da Avaliação de Dominância Manual mediante o Inventário de Edimburgo. Os dados do Quociente de Lateralidade são dados pela média e o desvio padrão.

	Amostra total	Com treinamento	Sem treinamento
		(n=25)	(n=23)
		Média	Média
		± Desvio Padrão	± Desvio Padrão
Quociente de Lateralidade (QL)	-	84,84 ± 22,17	94,05 ± 12,68
	n (%)	n (%)	n (%)
QL: +61 a +100 (Destros)	43 (89,58)	21 (84,00)	22 (95,65)
QL: +60 a -60 (Ambidestros)	5 (10,42)	4 (16,00)	1 (4,35)
QL: - 60 a -100 (Canhotos)	-	-	-

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

### 6.3. AVALIAÇÃO DAS FUNÇÕES EXECUTIVAS

O primeiro objetivo do presente estudo consistiu em avaliar as funções executivas, tais como: controle inibitório, memória de trabalho e memória episódica em idosos com e sem treinamento musical antes e após a aplicação da tDCS. Os testes MoCA, Stroop e Cantab apresentam resultados referentes a este objetivo proposto.

#### 6.3.1 MoCA (Montreal Cognitive Assessment)

Na Avaliação Cognitiva Montreal ou teste de MoCA os valores iguais ou superiores a 26 pontos são considerados normais, enquanto valores abaixo de 25 pontos estão relacionados a um Comprometimento Cognitivo Leve (CLL). Neste estudo a média de ambos os grupos ficou abaixo do valor mínimo esperado, o que significa que a maioria dos participantes de ambos os grupos (com e sem treinamento musical) apresentou um leve comprometimento cognitivo. Os domínios cognitivos e os escores totais não apresentaram diferenças significativas entre os dois grupos. A Tabela 4, abaixo, retrata os resultados do teste MoCA considerando o total da amostra do presente estudo.

Tabela 4. Escores do teste MoCA. Comparação dos domínios cognitivos da Avaliação Cognitiva Montreal (MoCA) participantes com e sem treinamento musical. Os dados são representados por mediana e percentis (25-75) para os dados não-paramétricos e média  $\pm$  desvio padrão para os dados paramétricos.

Domínios cognitivos	Com treinamento (n=25)	Sem treinamento (n=23)	P-valor <sup>a</sup>
Visuoespacial / Executiva [0-5]	5,00 (4-5)	4,00 (3-5)	Ns
Nomeação [0-3]	3,00 (2-3)	3,00 (2-3)	Ns
Atenção: Sequência de Números [0-2]	2,00 (1-2)	2,00 (1-2)	Ns
Atenção: Série de Letras [0-1]	1,00 (1-1)	3,00 (0)	Ns
Atenção: Subtração [0-3]	3,00 (3-3)	3,00 (3-3)	Ns
Linguagem: Repetição de Frases [0-2]	0,00 (0-1)	1,00 (0-1)	Ns
Linguagem: Fluência Verbal [0-1]	1,00 (0,5-1)	1,00 (0-1)	Ns
Abstração [0-2]	2,00 (2-2)	2,00 (2-2)	Ns
Orientação [0-6]	6,00 (6-6)	6,00 (6-6)	Ns
Escore total	24,52 $\pm$ 2,80	24,17 $\pm$ 2,71	ns <sup>b</sup>
Escore $\geq$ 26 n (%)	11 (44,00%)	9 (39,13%)	-
Escore $\leq$ 25 n (%)	14 (56,00%)	14 (60,87%)	-

Fonte: Dados da pesquisa (2022) Legenda: n: número absoluto. <sup>a</sup>Teste de Mann-Whitney. <sup>b</sup>Teste t para amostras independentes. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ . \*Valores entre colchetes representam a faixa de pontuação de cada item.

### 6.3.2 Teste de Stroop

As análises do Teste de Stroop revelaram que os participantes com treinamento musical, na segunda semana experimental, apresentaram um maior número de acertos quando receberam estimulação na ordem “sham”/real ( $M= 16,00$ ;  $DP= \pm 0,00$ ) ( $M_d = 16,00$ ;  $I/Q = 0,00$ ) em comparação àqueles que receberam na ordem real”sham”( $M= 15,38$ ;  $DP= \pm 0,65$ ) ( $M_d = 15,00$ ;  $I/Q = 1,00$ ) ( $U = 30,00$ ;  $p < 0,01$ ;  $r = 0,58$ ). Além disso, houve uma diferença quanto às omissões realizadas nesta mesma semana. Os participantes que receberam estimulação na ordem “sham”/real não realizaram omissões, diferentemente daqueles que receberam estimulação real”sham” ( $M= 0,31$ ;  $DP= \pm 0,48$ ) ( $M_d = 0,00$ ;  $I/Q = 1,00$ ) ( $U = 49,50$ ;  $p \leq 0,05$ ;  $r = 0,40$ ) (Figura 22A). Os participantes que não possuíam treinamento musical, independentemente da ordem da estimulação tDCS, não apresentaram diferenças em relação ao desempenho em ambas as semanas experimentais (Figura 22B).

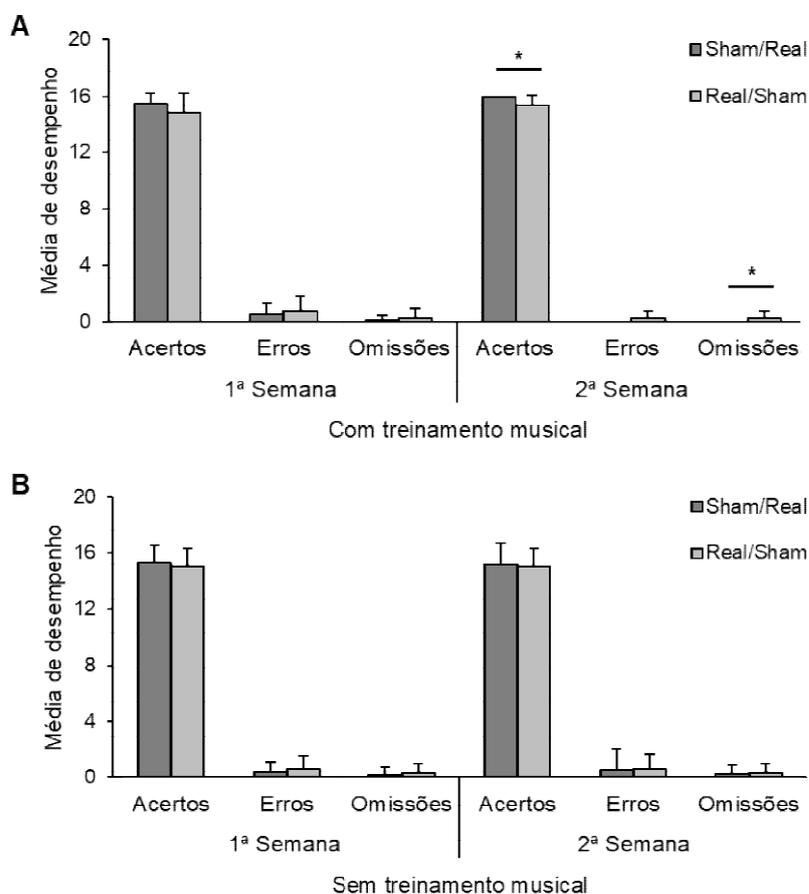


Figura 22. Média de desempenho dos participantes no teste de STROOP. Em (A) observamos a média de desempenho (acertos, erros e omissões) para os participantes com treinamento

musical e em (B) para aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. O desempenho é demonstrado nas duas semanas experimentais, para os grupos que receberam estimulação na ordem "sham"/real ou real/"sham". \* $p < 0,05$ .

A fim de verificar possíveis diferenças em relação à área cerebral (área motora e cerebelo) estimulada pela tDCS, realizamos o teste não-paramétrico de Mann-Whitney para comparar os grupos quanto à ordem de estimulação ("sham"/real e real/"sham"). Observou-se que os participantes com treinamento musical não apresentaram diferenças de desempenho em relação à área estimulada. No entanto, houve diferenças entre os participantes sem treinamento musical, que receberam estimulação na área motora. Na primeira semana, participantes sem treinamento musical que receberam estimulação na área motora ("sham"/real) não realizaram omissões, enquanto os que receberam estimulação real/"sham" apresentaram omissões ( $M = 0,60$ ;  $DP = \pm 0,89$ ) ( $M_d = 0,50$ ;  $IQ = 1,00$ ) ( $U = 9,00$ ;  $p \leq 0,05$ ;  $r = 0,55$ ).

A correlação de Spearman entre os dados demográficos e o desempenho dos participantes com treinamento musical no teste de STROOP mostrou uma correlação positiva e moderada entre idade e as omissões realizadas na segunda semana experimental ( $\rho = 0,446$ ;  $p < 0,05$ ). Para os participantes sem treinamento musical houve uma correlação positiva e moderada entre a idade e os erros cometidos na segunda semana experimental ( $\rho = 0,481$ ;  $p < 0,05$ ). Os dados referentes às correlações entre os dados demográficos e os desempenhos dos participantes com e sem treinamento musical no teste STROOP podem ser verificados no APÊNDICE E.

Foi realizada uma comparação entre o desempenho de participantes com e sem treinamento musical no teste STROOP. As análises não revelaram diferenças entre os dois grupos experimentais. O teste de Wilcoxon demonstrou que os participantes com treinamento musical apresentaram um maior número de erros na primeira semana ( $M = 0,70$ ;  $DP = \pm 0,93$ ) em comparação com a segunda semana experimental ( $M = 0,17$ ;  $DP = \pm 0,39$ ) ( $Z = -2,44$ ;  $p < 0,05$ ). Embora o *post-hoc* tenha detectado uma diferença em relação ao número de acertos na segunda semana, com os participantes com treinamento musical ( $M = 15,65$ ;  $DP = \pm 0,57$ ) apresentando um maior desempenho do que os participantes sem treinamento musical ( $M = 14,81$ ;  $DP = \pm 1,91$ ), o teste de Mann-Whitney, não confirmou essa diferença,  $U = 193,00$ ;  $p > 0,05$ .

## 6.4. RESULTADOS DO CAMBRIDGE NEUROPSYCHOLOGICAL TEST AUTOMATED BATTERY – CANTAB

### 6.4.1. Resultados do teste MOT (Motor Screening Task)

No teste MOT foram avaliados: o MOTML, relativo à latência média desde a exibição de um estímulo até uma resposta correta a esse estímulo durante as tentativas de avaliação; o MOTSDL, relativo ao desvio padrão da latência, calculado a partir da exibição de um estímulo até uma resposta correta a esse estímulo durante as tentativas de avaliação; o MOTTC, referente ao número total de tentativas de avaliação nas quais o sujeito deu uma resposta correta e o MOTTE, relacionado ao número total de tentativas de avaliação nas quais o sujeito não conseguiu dar uma resposta correta.

Os testes da bateria CANTAB, utilizados no presente estudo, foram avaliados de forma independente. As análises estatísticas realizadas para a Tarefa de Triagem Motora demonstraram que todos os participantes realizaram 10 testes de avaliação com respostas corretas (MOTTC) e não cometeram nenhum erro nas tarefas apresentadas (MOTTE).

Os demais parâmetros avaliados, latência média (MOTML) e desvio padrão da latência (MOTSDL), não apresentaram efeitos significativos em relação à ordem de estimulação tDCS (“sham”/real ou real/”sham”), para os participantes com e sem treinamento musical (Figura 23).

As comparações realizadas entre participantes com e sem treinamento musical (APÊNDICE F) e entre as áreas cerebrais e a ordem de estimulação da tDCS, não demonstraram diferenças significativas entre si e em relação às semanas experimentais pelos testes não-paramétricos. Da mesma forma, não foi verificado efeito no teste paramétrico.

A mesma comparação foi realizada em relação à área estimulada pela tDCS (área motora ou o cerebelo) e também não foram verificadas diferenças na média do tempo de resposta do MOTML e MOTSDL, em relação à ordem de estimulação. Por fim, mediante análise com o teste t para amostras pareadas, foram comparadas as duas semanas experimentais e novamente não foram verificadas diferenças significativas entre o MOTML e o MOTSDL em relação às semanas.

Os resultados do teste MOT não apresentaram nenhuma correlação com os dados demográficos (idade, anos de escolaridade e idade de início do treinamento musical) dos participantes com e sem treinamento musical.

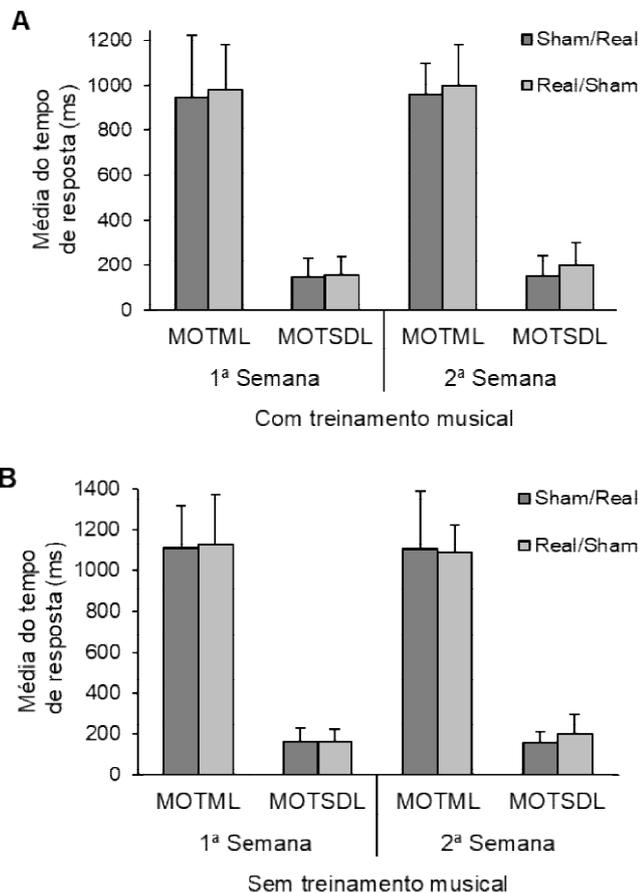


Figura 23. Média do tempo de resposta, em milissegundos, na Tarefa de Triagem Motora (MOT). Em (A) observamos a latência média (MOTML) e desvio padrão da latência (MOTSDDL) para os participantes com treinamento musical e em (B) para aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. É demonstrado o desempenho nas duas semanas experimentais, para os grupos que receberam estimulação na ordem “sham”/real ou real”sham”. \* $p < 0,05$ .

#### 6.4.2. Resultados do PAL (Paired Associates Learning) – Aprendizado Pareado Associado

Neste teste foram avaliadas as principais medidas de desfecho do Teste de Aprendizado Pareado Associado: PALFAMS, PALMET e PALTEA. O PALFAMS avalia o número de vezes em que um sujeito escolheu a caixa correta em sua primeira tentativa, ao lembrar os locais do padrão, o PALMETS avalia o número médio de tentativas realizadas, necessárias para que o participante conclua o estágio com sucesso e o PALTEA avalia o número de vezes em que o sujeito escolheu a caixa incorreta para um estímulo sobre problemas de avaliação, mais um ajuste para o número estimado de erros que

ele teria cometido em quaisquer problemas, tentativas e recuperações que o sujeito não alcançou. Essa medida permite comparar o desempenho em erros cometidos em todos os participantes, independentemente daqueles que terminaram antes e daqueles que concluíram o estágio final da tarefa. Tais medidas foram analisadas por meio dos testes paramétricos, ANOVA de um fator e Teste t para amostras pareadas.

Dessa forma, foi verificado efeito significativo na média de desempenho do PALMET na primeira semana experimental, para os participantes com treinamento musical,  $F(1,24) = 10,35$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = 0,13$ . O desempenho mensurado nessa medida estava relacionado ao número médio de erros até a obtenção do sucesso na tarefa. Assim, os participantes que receberam estimulação tDCS na ordem real/"sham" ( $M = 3,43$ ;  $DP = \pm 1,51$ ) apresentaram uma média de erros maior do que aqueles que receberam na ordem "sham"/real ( $M = 1,73$ ;  $DP = \pm 1,01$ ) (Figura 24A). Para os participantes sem treinamento musical, a análise estatística demonstrou que na segunda semana experimental também houve efeito significativo na média de desempenho do PALMET,  $F(1,22) = 6,70$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,04$ . Aqueles que receberam estimulação na ordem real/"sham" ( $M = 3,27$ ;  $DP = \pm 1,10$ ) também apresentam uma média de erros maior do que os que receberam na ordem "sham"/real ( $M = 1,92$ ;  $DP = \pm 1,38$ ) (Figura 24B). Os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação tDCS na ordem real/"sham", também apresentaram diferenças na média de desempenho entre as semanas experimentais do PALMET,  $t(10) = -2,92$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,18$ .

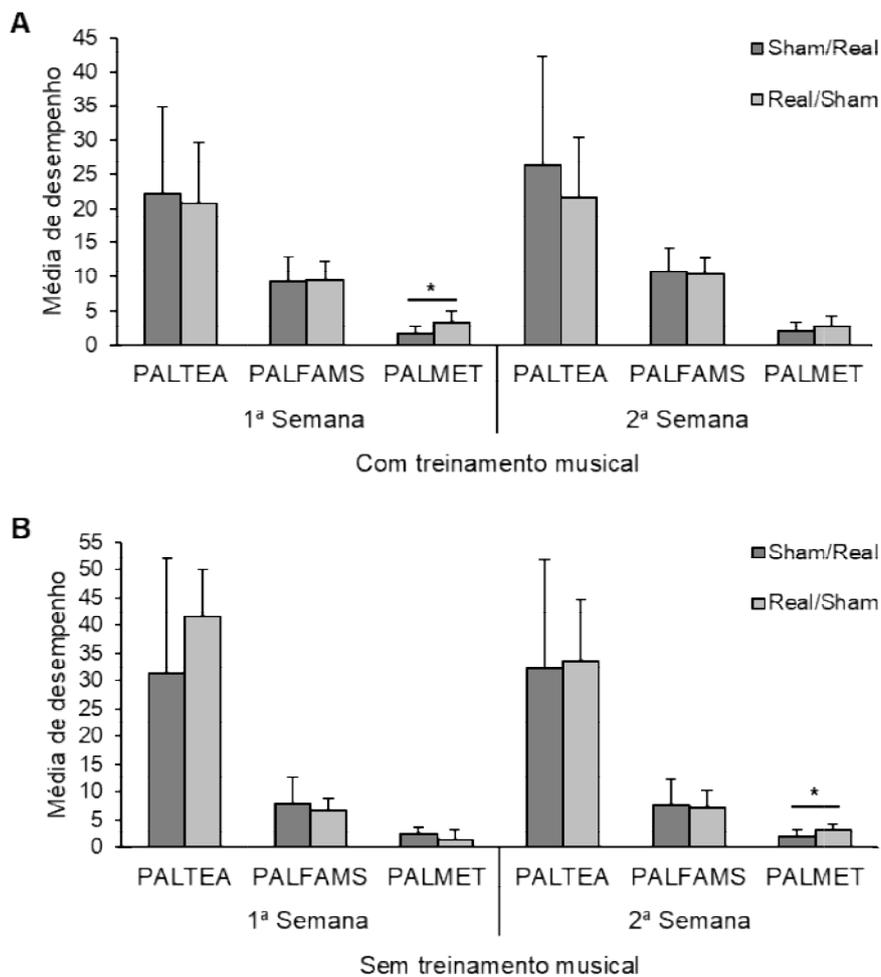


Figura 24. Média de desempenho no Teste de Aprendizado Pareado Associado (PAL). Em (A) observamos as principais medidas de desfecho (PALTEA, PALFAMS, PALMET) do teste para os participantes com treinamento musical e em (B) para aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. É demonstrado o desempenho nas duas semanas experimentais, para os grupos que receberam estimulação na ordem “sham”/real ou real”sham”.\*p < 0,05.

Quando comparamos a ordem de estimulação em relação às áreas cerebrais estimuladas pela tDCS (área motora e cerebelo), novamente verificamos diferenças no PALMET entre os grupos com e sem treinamento musical. Os participantes com treinamento musical que receberam estimulação na área motora apresentaram efeito significativo na média de desempenho do PALMET, na primeira semana experimental,  $F(1,14) = 4,86$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,34$ . Aqueles que receberam estimulação real”sham” ( $M = 3,58$ ;  $DP = \pm 1,44$ ) apresentaram uma maior média de erros em comparação aos que receberam na ordem “sham”/real ( $M = 1,67$ ;  $DP = \pm 0,58$ ) (Figura 25). Para os participantes sem treinamento musical, a diferença foi verificada no cerebelo, durante a segunda semana experimental,  $F(1,9) = 11,11$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,94$ . Novamente, os participantes que receberam estimulação real”sham” ( $M = 4,25$ ;  $DP = \pm 0,50$ )

cometeram uma média de erros maior do que os que receberam estimulação “sham”/real ( $M= 2,00$ ;  $DP= \pm 1,27$ ) (Figura 25).

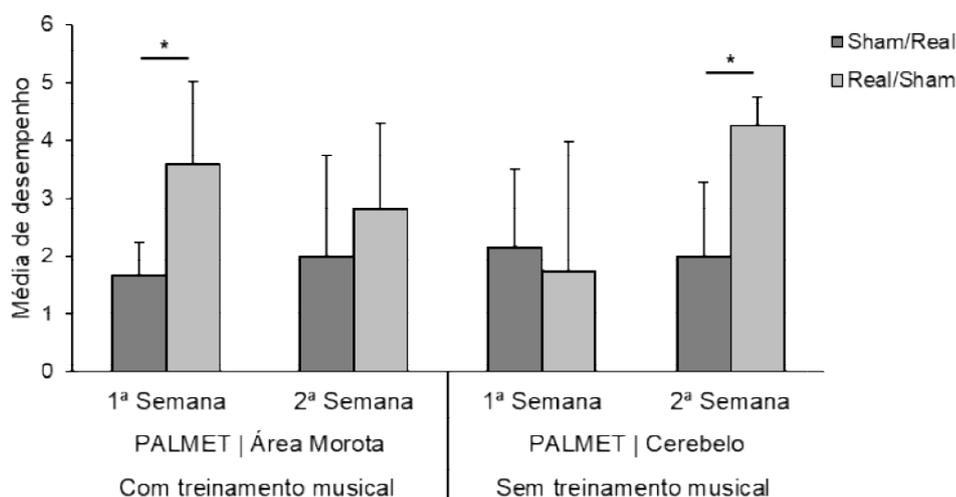


Figura 25. Média de desempenho no PALMET. Os dados mostram o desempenho durante a 1ª e a 2ª semana experimental. À esquerda para os participantes com treinamento musical que receberam estimulação pela tDCS na área motora e à direita, os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação no cerebelo. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$ .

Foi realizada uma comparação entre participantes com e sem treinamento musical em relação ao desempenho nas principais medidas de desfecho do teste PAL. O teste de Mann-Whitney verificou que na medida de PALFAMS, participantes com treinamento musical apresentaram maior desempenho nas duas semanas experimentais em comparação aos não-músicos ( $U=188,00\sim154,00$ ;  $p<0,05$ , respectivamente). Na medida PALTEA, ocorreu o inverso, participantes sem treinamento musical apresentaram maior desempenho em ambas as semanas em comparação aos participantes sem treinamento musical ( $U=154,50\sim151,00$ ;  $p<0,05$ , respectivamente). Os dados são apresentados no APÊNDICE G.

#### 6.4.3 Resultados do SWM (Spatial Working Memory) - Memória de Trabalho Espacial

No teste SWM, as principais medidas de desfecho analisadas foram o SWMS - referente ao número de vezes em que o participante inicia um novo padrão de pesquisa de *tokens* a partir da mesma caixa em havia começado anteriormente, é calculado em ensaios avaliados com 6 tokens ou mais; o SWMBE4 – relacionado ao número de vezes em que um participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado ao longo de todas as tentativas em que há 4 tokens;

o SWMBE6 - relacionado ao número de vezes em que o sujeito revisita uma caixa na qual um token já havia sido encontrado anteriormente. Calculado em todas as tentativas com apenas 6 tokens; o SWMBE8 - referente ao número de vezes em que um participante revisita incorretamente uma caixa na qual um token havia sido encontrado anteriormente. Calculado ao longo de todas as tentativas em que há 8 tokens.

Foi verificado efeito significativo na média do desempenho do SWMBE8, para os participantes com treinamento musical, na primeira semana experimental,  $F(1,22) = 8,57$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = 1,19$ . O desempenho mensurado no SWMBE8 é o número de vezes que o participante realiza uma escolha incorretamente nos estímulos do teste em tentativas de 8 tokens. Dessa forma, os participantes que receberam estimulação tDCS na ordem real/"sham" ( $M = 15,69$ ;  $DP = \pm 3,28$ ) cometeram uma média maior de erros em comparação aos que receberam estimulação "sham"/real ( $M = 12,00$ ;  $DP = \pm 2,58$ ) (Figura 26A). Ao comparar as semanas entre si, para cada parâmetro, não foram verificadas diferenças significativas.

Para os participantes sem treinamento musical, a diferença encontrada em relação à ordem de estimulação pela tDCS foi para o teste SWMS, na segunda semana experimental,  $F(1,20) = 4,23$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $g = 0,87$ . Aqueles que receberam estimulação tDCS na ordem real/"sham" ( $M = 10,30$ ;  $DP = \pm 0,68$ ) apresentaram média de erros maior do que os que receberam estimulação "sham"/real ( $M = 9,45$ ;  $DP = \pm 1,13$ ) (Figura 26B). Além disso, quando comparamos as semanas experimentais, encontramos uma diferença significativa para o SWMBE6 ( $t = -2,47$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 0,87$ ) apenas para os participantes que receberam estimulação real/"sham". Esses participantes apresentam uma média menor de erros na primeira semana ( $M = 6,00$ ;  $DP = \pm 1,84$ ) em comparação com a segunda semana experimental ( $M = 8,09$ ;  $DP = \pm 2,55$ ).

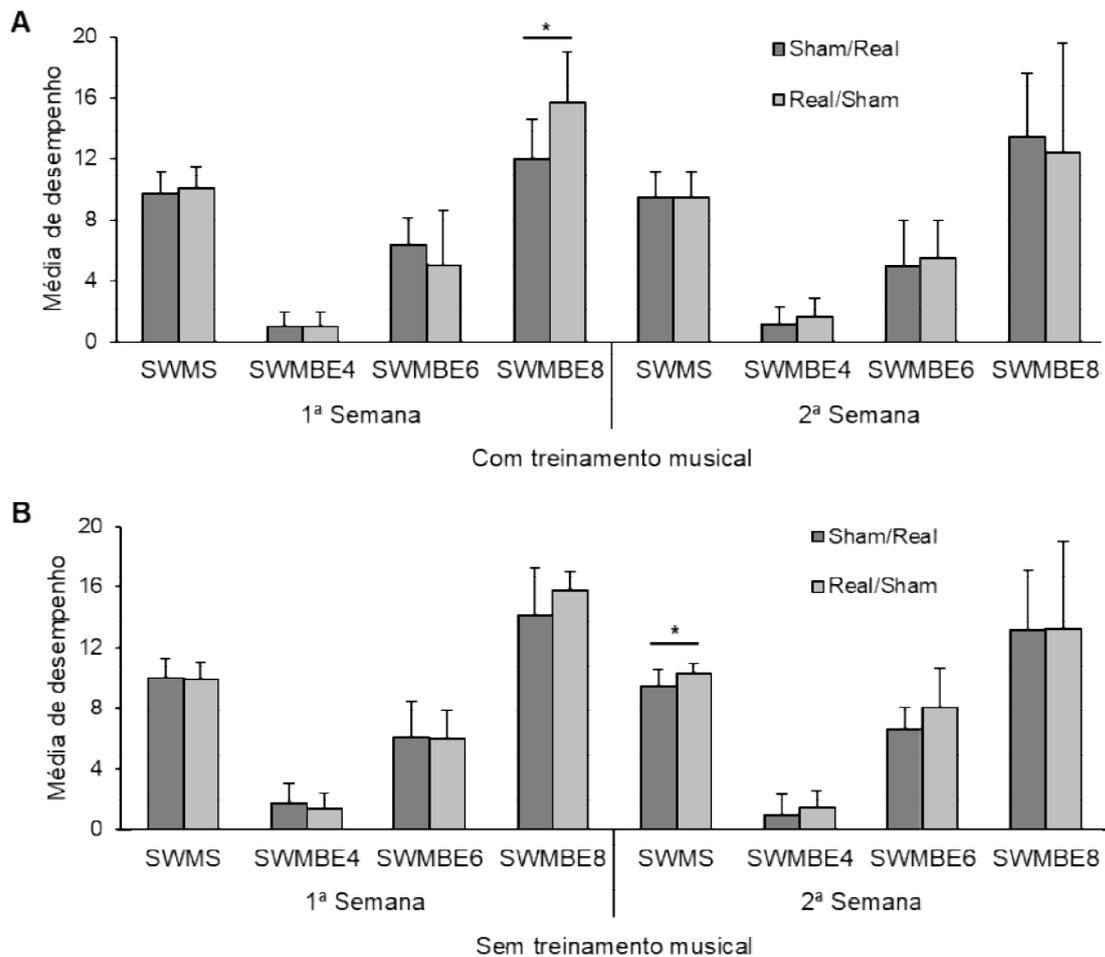


Figura 26. Média de desempenho no Teste de Memória de Trabalho Espacial. Em (A) observamos as principais medidas de desfecho (SWMS, SWMBE4, SWMBE6 e SWMBE8) do teste para os participantes com treinamento musical e em (B) para aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. É demonstrado o desempenho nas duas semanas experimentais, para os grupos que receberam estimulação na ordem “sham”/real ou real”sham”. \* $p < 0,05$ .

As análises das áreas estimuladas pela tDCS (área motora e cerebelo) foram realizadas de forma separada para os dois grupos. Observamos efeito da ordem de estimulação no teste SWMBE8, para os participantes com treinamento musical que receberam estimulação no cerebelo, na primeira semana experimental,  $F(1,9) = 11,30$ ,  $p = 0,01$ ,  $g = 2,40$ . Os participantes que receberam estimulação na ordem real”sham” apresentaram uma média de erros ( $M = 19,50$ ;  $DP = \pm 4,95$ ) maior do que aqueles que receberam na ordem “sham”/real ( $M = 11,50$ ;  $DP = \pm 2,62$ ) (Figura 27).

Os participantes sem treinamento musical apresentaram efeitos da ordem de estimulação para os testes SWMBE8 e SWMS, quando receberam estimulação na área motora. No SWMBE8, o efeito foi verificado na primeira semana experimental  $F(1,11) = 5,10$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,22$ . Aqueles que receberam estimulação na ordem real”sham” apresentaram média de erros

maior ( $M = 15,71$ ;  $DP = \pm 1,11$ ) do que o que receberam na ordem “sham”/real ( $M = 13,40$ ;  $DP = \pm 2,41$ ) (Figura 27). Para o SWMS, o efeito ocorreu na segunda semana experimental,  $F(1,11) = 4,58$ ,  $p = 0,05$ ,  $g = 1,15$ . Novamente, o grupo real/”sham” ( $M = 10,14$ ;  $DP = \pm 0,69$ ) apresentou desempenho maior, que o grupo “sham”/real ( $M = 9,20$ ;  $DP = \pm 0,84$ ) (Figura 27).

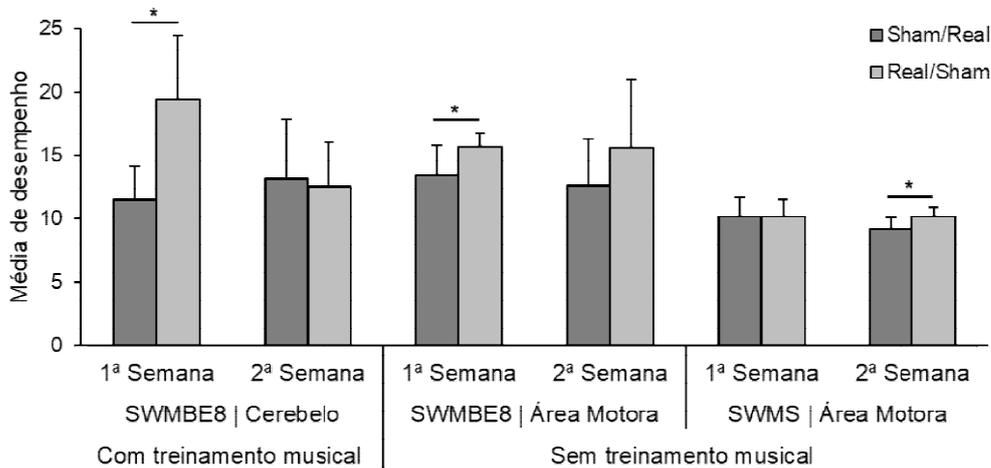


Figura 27. Média de desempenho no SWMBE8 e SWMS. Os dados mostram o desempenho durante a 1ª e a 2ª semana experimental, à esquerda para os participantes com treinamento musical que receberam estimulação pela tDCS no cerebelo e à direita os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação na área motora. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$ .

A correlação de Pearson mostrou que os participantes com treinamento musical apresentaram uma correlação negativa e moderada entre a idade e o desempenho no teste SWMS ( $\rho = -0,559$ ;  $p < 0,01$ ), durante a primeira semana experimental. Para os participantes sem treinamento musical, foi verificada uma correlação positiva e fraca entre idade e o desempenho no teste SWMBE8 ( $\rho = 0,447$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental.

As análises das comparações entre participantes com e sem treinamento musical no teste SWM, não revelaram efeito individual ou de interação das semanas e dos grupos dois experimentais sob o desempenho dos indivíduos. Observou-se, por meio do teste *post-hoc* de Sidak, uma diferença no SWMBE6 ( $p < 0,05$ ), na segunda semana experimental, entre participantes com e sem treinamento musical, no entanto, essa diferença não foi confirmada no teste não-paramétrico.

O segundo objetivo deste estudo foi avaliar a capacidade de sincronização sensório-motora a partir da pulsação musical em idosos com e sem treinamento musical, antes e após a aplicação da tDCS. Os resultados

deste objetivo serão expressos abaixo, por meio das análises do teste MTT, do H-BAT.

## 6.5. HARVARD BEAT ASSESSMENT TEST (H-BAT)

O H-BAT é composto por uma série de subtestes. No presente estudo foram utilizados três desses subtestes, MTT, BIT e BFIT. Os subtestes foram analisados de forma independente, para os participantes com e sem treinamento musical. Com o uso dos testes paramétricos, teste t para amostras pareadas e ANOVA de um fator, verificamos possíveis diferenças em relação à ordem de estimulação (real/"sham", "sham"/real) e à área estimulada (área motora e cerebelo), durante as semanas experimentais, nas estimulações pré e pós-tDCS. Os resultados para cada um dos subtestes são descritos a seguir.

Os dados de desempenho geral no H-BAT, dos participantes com e sem treinamento musical, encontram-se agrupados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Nessas tabelas são apresentados os valores da média, desvio padrão (*DP*), média  $\pm 2DP$ , valores mínimos e máximos, amplitude, percentis, assimetria e curtose, para cada um dos subtestes.

### 6.5.1. Music Tapping Test (MTT) – Teste de Escutas Musicais

O desempenho mensurado no MTT é obtido a partir de três índices de sincronização (SIs) que quantificam as propriedades da distribuição da fase relativa, ou seja, as características da sincronização do toque do indivíduo com os tempos de batimento apresentados.

Dessa forma, o  $SI_{ARV}$  e o  $SI_{LRV}$  foram medidos em graus e estão relacionados com o ângulo e comprimento do vetor resultante. O  $SI_{ARV}$  é negativo quando o toque antecede o tempo da batida, ou seja, quando ocorre um adiantamento na sincronização. É positivo quando ocorre um atraso na sincronização. O  $SI_{LRV}$  varia de 0 a 1. Quanto maior o valor, mais consistente é o toque do indivíduo em uma determinada fase, em relação à batida. Quanto menor o valor, mais inconsistente e aleatória é a batida em relação às fases (Fujii & Schlaug, 2013). Por fim, a última medida,  $SI_{ENT}$  se refere à entropia de distribuição da fase relativa. Nesse teste um menor valor significa uma melhor capacidade de sincronização (162). Ressalta-se que o índice de sincronização

SI<sub>ARV</sub> é uma medida de acurácia da sincronização enquanto o SI<sub>LRV</sub> e o SI<sub>ENT</sub> são medidas de consistência da sincronização (Fujii & Schlaug, 2013).

Em relação à medida SI<sub>ARV</sub>, os participantes com treinamento musical apresentaram diferenças em relação à ordem de estimulação tanto para a área motora (M1) quanto para o cerebelo (Figura 28).

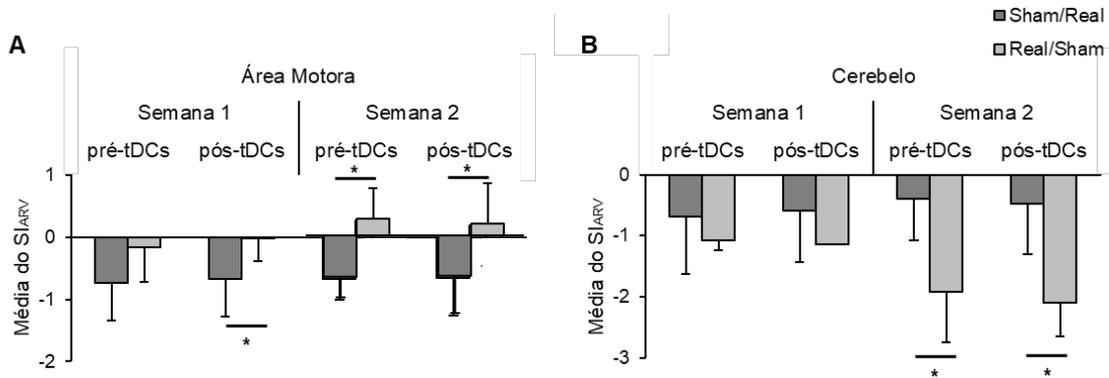


Figura 28. Média do SI<sub>ARV</sub>, em graus, no Teste de Escutas Musicais (MTT). Os dados mostram o desempenho dos participantes com treinamento musical nas duas semanas experimentais, nas pré e pós-tDCs, que receberam estimulação na ordem “sham”/real ou real”sham”. Em (A) apresentamos o grupo que recebeu a estimulação na área motora (n = 15) e em (B) no cerebelo (n = 10). A barra de erro representa o desvio padrão. \*p < 0,05

Em relação à área motora, a ANOVA mostrou que na sessão pós-tDCS da primeira semana experimental os participantes que receberam estimulação “sham”/real, apresentaram uma média do SI<sub>ARV</sub> significativamente menor ( $M = -0,67$ ;  $DP = \pm 0,61$ ) do que aqueles que receberam estimulação real”sham” ( $M = -0,01$ ;  $DP = \pm 0,38$ ),  $F(1,14) = 6,45$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -1,40$  (Figura 28A). Essa mesma diferença foi verificada na segunda semana experimental, nas sessões pré-tDCS ( $F(1,14) = 7,12$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,48$ ) e pós-tDCS ( $F(1,14) = 4,92$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,21$ ) (Figura 28A). Na sessão pré-tDCS, os participantes que receberam estimulação na ordem “sham”/real apresentaram média menor ( $M = -0,69$ ;  $DP = \pm 0,33$ ) do que aqueles que receberam estimulação na ordem real”sham” ( $M = 0,03$ ;  $DP = \pm 0,49$ ). O mesmo ocorreu na sessão pós-tDCs [“sham”/real: ( $M = -0,65$ ;  $DP = \pm 0,62$ ); real”sham”: ( $M = 0,18$ ;  $DP = \pm 0,65$ )].

Quando analisamos os participantes com treinamento musical, que receberam a tDCS no cerebelo, verificamos diferenças na média do SI<sub>ARV</sub> na segunda semana experimental, nas sessões pré ( $F(1,9) = 7,37$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -1,95$ ) e pós-tDCS ( $F(1,9) = 6,79$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -1,85$ ) (Figura 28B). Na sessão pré-tDCS a média do SI<sub>ARV</sub> foi maior ( $M = -0,40$ ;  $DP = \pm 0,68$ ) para os participantes que receberam estimulação “sham”/real, em comparação a quem

recebeu real/"sham" ( $M = -1,91$ ;  $DP = \pm 0,83$ ). O mesmo ocorreu na sessão pós-tDCS "sham"/real: ( $M = -0,48$ ;  $DP = \pm 0,82$ ); real/"sham": ( $M = -2,10$ ;  $DP = \pm 0,55$ ).

Para os participantes sem treinamento musical, inicialmente, verificamos uma diferença em relação à ordem de estimulação tDCS, na segunda semana experimental, na sessão pós-tDCS, para os índices de sincronização  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$  (Figura 29).

Em relação ao  $SI_{LRV}$ , os participantes que receberam estimulação na ordem "sham"/real apresentaram uma média do  $SI_{LRV}$  maior ( $M = 0,67$ ;  $DP = \pm 0,12$ ) em comparação ao grupo real/"sham" ( $M = 0,50$ ;  $DP = \pm 0,22$ ) ( $F(1,22) = 5,70$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,96$ ) (Figura 29A). Para o  $SI_{ENT}$ , o grupo "sham"/real também apresentou uma média maior ( $M = 0,27$ ;  $DP = \pm 0,44$ ) em comparação ao grupo real/"sham" ( $M = 0,22$ ;  $DP = \pm 0,52$ ) ( $F(1,22) = 5,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,10$ ) (Figura 29B).

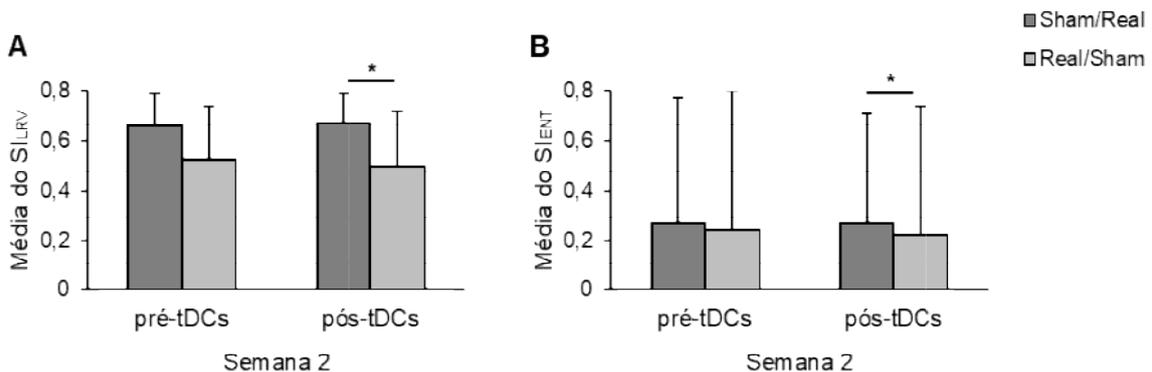


Figura 29. Média geral do  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$ , para os participantes sem treinamento musical, no MTT. Os dados mostram o desempenho dos participantes que receberam estimulação na ordem "sham"/real ( $n = 13$ ) ou real/"sham" ( $n = 10$ ) na segunda semana experimental, nas sessões pré e pós-tDCS. Em (A) apresentamos o desempenho, em graus, no  $SI_{LRV}$  e em (B) o desempenho no  $SI_{ENT}$ . A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$

Posteriormente, ainda para os participantes sem treinamento musical, analisamos os SIs em relação à área cerebral estimulada pela tDCS. O teste t para amostras pareadas mostrou diferenças na média do  $SI_{ARV}$  entre as pré e pós-tDCS para todo o grupo que recebeu estimulação na área motora,  $t(12) = -3,19$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = 0,15$ . Assim, a média do  $SI_{ARV}$  foi maior nas sessões pré-tDCS ( $M = -0,49$ ;  $DP = \pm 0,97$ ) em comparação com as sessões pós-tDCS ( $M = -0,65$ ;  $DP = \pm 1,04$ ).

Ao comparar os grupos em relação à ordem de estimulação, aqueles que receberam estimulação na área motora apresentaram diferenças nos índices de sincronização  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$  (Figura 30).

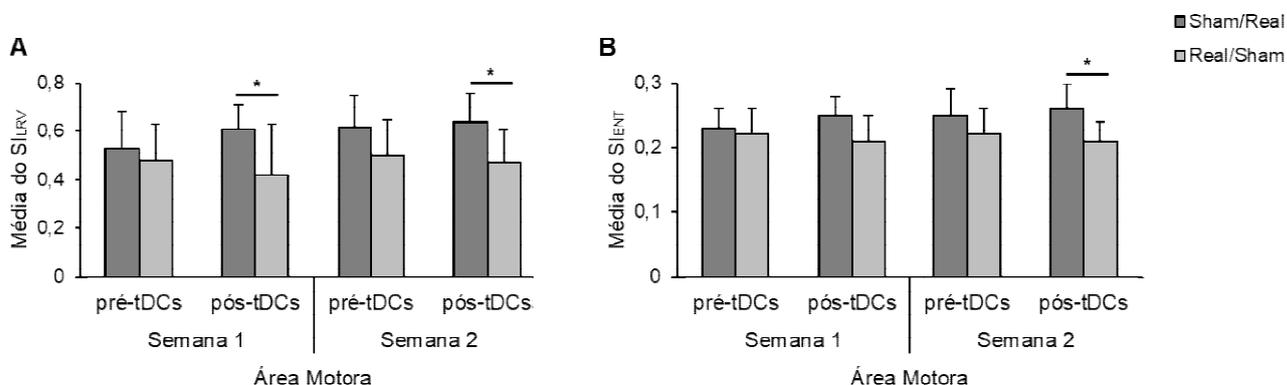


Figura 30. Média do  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$  no Teste de Escutas Musicais (MTT). Os dados mostram o desempenho dos participantes sem treinamento musical nas duas semanas experimentais, nas sessões pré e pós-tDCS, que receberam estimulação na ordem “sham”/real ( $n = 7$ ) ou real”/sham” ( $n = 6$ ). Em (A) apresentamos o desempenho, em graus, no  $SI_{LRV}$  e em (B) o desempenho no  $SI_{ENT}$ , ambos para a área motora. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$

Os participantes sem treinamento musical apresentaram diferenças em relação à ordem de estimulação nas pós-tDCS, na primeira ( $F(1,12) = 4,71$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $g = -1,11$ ) e segunda ( $F(1,12) = 5,19$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -1,22$ ) semanas experimentais do  $SI_{LRV}$  (Figura 30A). Na primeira semana, os participantes que receberam estimulação tDCS na ordem “sham”/real apresentaram média do  $SI_{LRV}$  maior ( $M = 0,61$ ;  $DP = \pm 0,10$ ) do que os que receberam real”/sham” ( $M = 0,42$ ;  $DP = \pm 0,21$ ). O mesmo desempenho foi observado na segunda semana experimental [“sham”/real: ( $M = 0,64$ ;  $DP = \pm 0,12$ ); real”/sham”: ( $M = 0,47$ ;  $DP = \pm 0,14$ )].

Em relação ao índice de sincronização  $SI_{ENT}$ , as diferenças verificadas quanto à ordem de estimulação também ocorreram na sessão pós-tDCS na segunda semana experimental ( $F(1,12) = 6,14$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -1,30$ ) para os participantes sem treinamento musical que tiveram a área motora estimulada (Figura 30B). Novamente, o grupo “sham”/real apresentou média do  $SI_{ENT}$  maior ( $M = 0,26$ ;  $DP = \pm 0,04$ ) em comparação ao grupo real”/sham” ( $M = 0,21$ ;  $DP = \pm 0,03$ ). Não foram verificadas diferenças em relação à ordem de estimulação para o cerebelo.

Por fim, analisamos possíveis correlações entre os resultados dos SIs do MTT e as características demográficas e musicais da amostra. Para o  $SI_{LRV}$ , os

participantes com treinamento musical, apresentaram uma correlação com as horas praticadas, na sessão pós-tDCS da primeira semana experimental ( $\rho = -0,398$ ;  $p < 0,05$ ). Para os participantes sem treinamento musical, foi observado uma correlação com a idade, na pré-tDCS da primeira ( $\rho = 0,430$ ;  $p < 0,05$ ) e segunda ( $\rho = 0,510$ ;  $p < 0,05$ ) semana experimental.

No  $Sl_{LRV}$ , os participantes com treinamento musical apresentaram correlações com a idade de início do treinamento musical ( $\rho = -0,453$ ;  $p < 0,05$ ), com o tempo de treinamento (em anos) ( $\rho = 0,499$ ;  $p < 0,05$ ) e com o relato de há quantos dias tocou o seu instrumento de estudo pela última vez ( $\rho = -0,459$ ;  $p < 0,05$ ), todos com o desempenho na sessão pós-tDCS na segunda semana experimental. Para os participantes sem treinamento musical, foi verificada apenas uma correlação com a idade ( $\rho = -0,424$ ;  $p < 0,05$ ) também na sessão pós-tDCS da segunda semana.

A correlação de Pearson mostrou para os participantes com treinamento musical, no  $Sl_{ENT}$ , correlações com a idade ( $\rho = 0,404$ ;  $p < 0,05$ ), com a idade de início do treinamento musical ( $\rho = -0,468$ ;  $p < 0,05$ ) e com o tempo de treinamento ( $\rho = 0,475$ ;  $p < 0,01$ ) todos na sessão pós-tDCS da segunda semana experimental. Essa última correlação também ocorreu com a sessão pré-tDCS da primeira semana ( $\rho = 0,424$ ;  $p < 0,05$ ), que também apresentou uma correlação com a quantidade de horas praticadas no dia ( $\rho = 0,422$ ;  $p < 0,05$ ).

Considerando a análise comparativa entre participantes com e sem treinamento musical no teste MTT, o teste de Mann-Whitney verificou diferenças entre os participantes na medida  $Sl_{LRV}$  pré-tDCS ( $U = 113,00$ ;  $p < 0,01$ ) e  $Sl_{LRV}$  pós-tDCS ( $U = 117,00$ ;  $p < 0,01$ ) na primeira semana experimental,  $Sl_{LRV}$  pré-tDCS ( $U = 124,00$ ;  $p < 0,01$ ) e  $Sl_{LRV}$  pós-tDCS ( $U = 155,00$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental,  $Sl_{ENT}$  pré-tDCS ( $U = 111,00$ ;  $p < 0,001$ ) e  $Sl_{ENT}$  pós-tDCS ( $U = 118,00$ ;  $p < 0,01$ ) na primeira semana experimental,  $Sl_{ENT}$  pré-tDCS ( $U = 120,00$ ;  $p < 0,01$ ) e  $Sl_{ENT}$  pós-tDCS ( $U = 150,00$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental. Quando realizamos as análises individuais para cada grupo de participantes, o teste de Wilcoxon não detectou diferenças pré e pós-tDCS e nem entre as semanas experimentais. As tabelas 5 e 6 retratam os resultados verificados entre os grupos.

O terceiro objetivo desta pesquisa foi analisar a percepção da batida/pulsção, de acordo com a mudança de andamento, em idosos com e

sem treinamento musical, antes e após a aplicação da tDCS. Tais resultados serão apresentados a seguir, por meio da análise dos testes de percepção do BIT e BFIT, da bateria H-BAT.

### **6.5.2. Beat Interval Test (BIT) – Teste de Intervalo de Batida e Beat Finding and Interval Test (BFIT) – Teste de Descoberta e Intervalo de Batida**

Os dados do BIT e BFIT analisados no presente estudo avaliaram os limiares de percepção na detecção da mudança de andamento das batidas apresentadas. Essas medidas de percepção, BIT *per* e BFIT *per*, foram submetidas a uma transformação logarítmica de base 2. Dessa forma, os dados apresentados a seguir, apresentam seus valores em  $\text{Log}_2$ , medidos em milissegundos.

Inicialmente verificamos a ocorrência de possíveis diferenças em relação à ordem de estimulação, entre a pré e pós-tDCS, para os participantes com e sem treinamento musical. Considerando que nos testes BIT e BFIT, os tempos de respostas estão relacionados aos limiares de percepção dos participantes, para o teste de BIT *per*, verificamos que os participantes com treinamento musical, que receberam estimulação na ordem real/"sham", na primeira semana experimental, apresentam uma média de tempo de resposta menor na sessão pós-tDCS ( $M = 0,25$ ;  $DP = \pm 2,07$ ) em comparação com a sessão pré-tDCS ( $M = 1,59$ ;  $DP = \pm 1,55$ ),  $t(12) = 3,05$ ,  $p = 0,01$ ,  $g = -0,69$ . (Figura 31A). Essa mesma diferença foi verificada para os participantes sem treinamento musical,  $t(9) = 2,19$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $g = -0,76$  [pós-tDCS: ( $M = 2,45$ ;  $DP = \pm 1,09$ ); pré-tDCS: ( $M = 3,17$ ;  $DP = \pm 0,62$ )] (Figura 31B).

No teste BFIT *per*, os participantes com treinamento musical, apresentaram diferenças na média do tempo de resposta, na segunda semana experimental  $t(11) = -2,21$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 0,65$ . O grupo que recebeu estimulação "sham"/real apresentou uma média de tempo de resposta menor na sessão pré-tDCS ( $M = 0,38$ ;  $DP = \pm 1,46$ ) em comparação com a sessão pós-tDCS ( $M = 1,17$ ;  $DP = \pm 0,77$ ) (Figura 31C). Os participantes sem treinamento musical, ainda no teste BFIT *per*, que receberam estimulação real/"sham" na primeira semana experimental apresentaram uma média de tempo de resposta menor na sessão pós-tDCS ( $M = 1,90$ ;  $DP = \pm 1,07$ ) em comparação com a sessão pré-tDCS ( $M = 2,86$ ;  $DP = \pm 1,04$ ),  $t(9) = 2,48$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,85$  (Figura 31D).

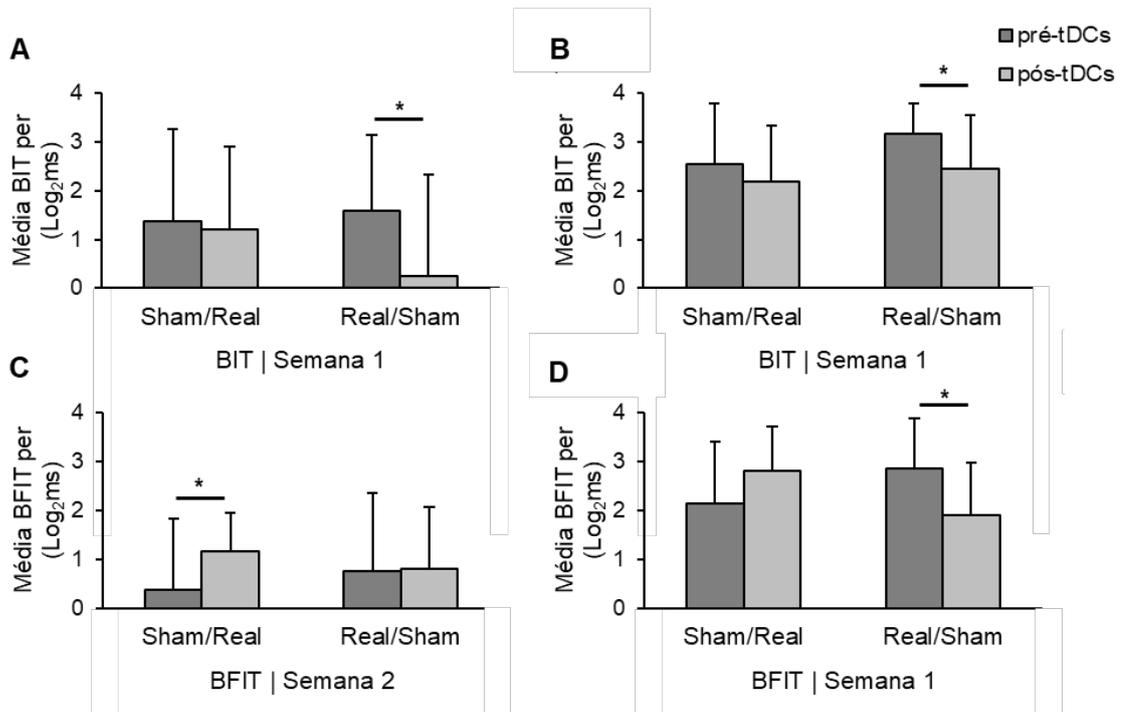


Figura 31. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes BIT *per* e BFIT *per*. Em (A) e (C) observamos os participantes com treinamento musical, em (B) e (D) que receberem estimulação na ordem “sham”/real ou real”/sham”, nas pré e pós-tDCS. A barra de erro representa o desvio padrão. \*p < 0,05

Os participantes sem treinamento musical apresentaram diferenças em relação à ordem de estimulação, no teste BIT *per*, durante a sessão pré-tDCS, na segunda semana experimental,  $F(1,22) = 6,60$ ,  $p = 0,01$ ,  $g = 1,04$ . Os participantes que receberam estimulação na ordem “sham”/real apresentaram uma média de tempo de resposta menor ( $M = 1,41$ ;  $DP = \pm 1,06$ ) em comparação ao grupo real”/sham” ( $M = 2,72$ ;  $DP = \pm 1,39$ ).

Quando levamos em consideração a área estimulada, esses participantes apresentaram diferenças na área motora, em relação à ordem de estimulação tDCS. Na segunda semana experimental, durante a sessão pré-tDCS, o grupo que recebeu estimulação na ordem “sham”/real apresentou uma média de tempo de resposta menor ( $M = 0,83$ ;  $DP = \pm 0,85$ ) em comparação ao grupo real”/sham” ( $M = 3,02$ ;  $DP = \pm 1,14$ ),  $F(1,12) = 15,61$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = 2,05$  (Figura 32A).

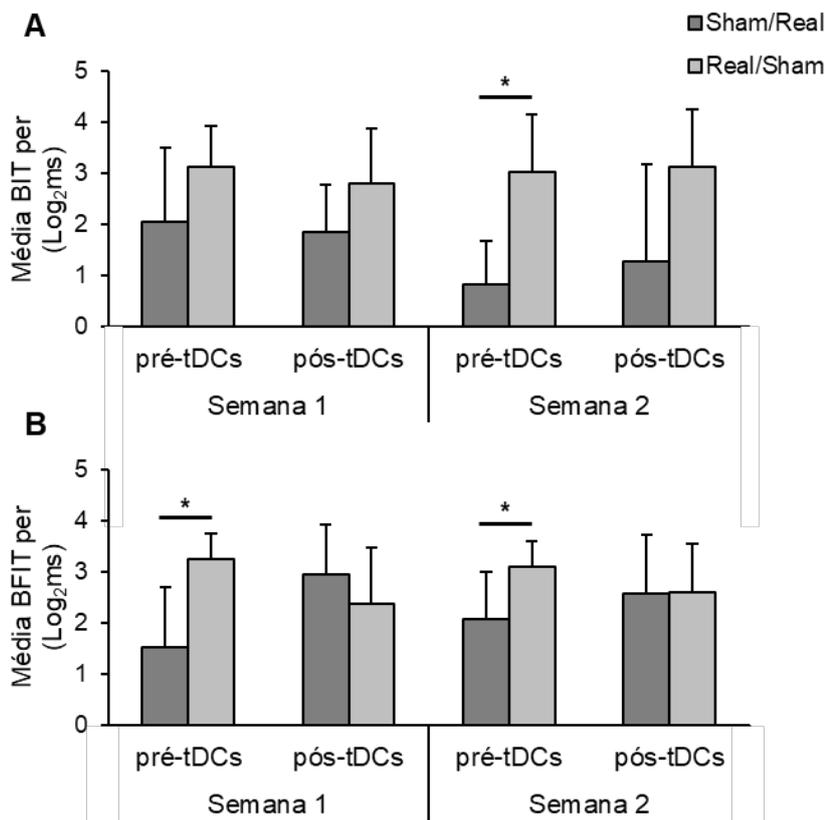


Figura 32. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes BIT *per* e BFIT *per* para os participantes sem treinamento musical. Em (A) observamos os resultados para o BIT *per* e em (B) BFIT *per* dos participantes que receberam estimulação na ordem “sham”/real ( $n = 13$ ) ou real/”sham” ( $n = 10$ ), nas sessões pré e pós-tDCS. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$

No teste BFIT *per*, os participantes sem treinamento musical, apresentaram diferenças em relação à ordem de estimulação, durante a sessão pós-tDCS, na primeira semana experimental,  $F(1,22) = 4,82$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,90$ . Os participantes que receberam estimulação na ordem “sham”/real apresentaram uma média de tempo de resposta maior ( $M = 2,81$ ;  $DP = \pm 0,90$ ) em comparação ao grupo real/”sham” ( $M = 1,90$ ;  $DP = \pm 1,07$ ).

Posteriormente, ao analisar as áreas estimuladas, esses participantes apresentaram diferenças quanto à ordem de estimulação na área motora, durante a sessão pré-tDCS, nas duas semanas experimentais. Na primeira semana, os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação “sham”/real apresentaram uma média de tempo de resposta menor ( $M = 1,52$ ;  $DP = \pm 1,19$ ) em comparação ao grupo real/”sham” ( $M = 3,25$ ;  $DP = \pm 0,49$ ),  $F(1,12) = 10,92$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = 1,71$  (Figura 25B). Na segunda semana experimental, os grupos apresentaram essas mesmas diferenças,  $F(1,12) = 6,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,26$  [“sham”/real: ( $M = 2,08$ ;  $DP = \pm 0,93$ ); real/”sham”: ( $M = 3,11$ ;  $DP = \pm 0,49$ )] (Figura 32B).

Os participantes sem treinamento musical, ainda em relação ao teste BFIT *per*, também apresentaram diferenças quanto à ordem de estimulação no cerebelo. A ANOVA mostrou que na sessão pós-tDCS, na primeira semana experimental, o grupo que recebeu estimulação na ordem “sham”/real apresentou uma média de tempo de resposta maior ( $M = 2,64$ ;  $DP = \pm 0,87$ ) em comparação ao grupo real”sham” ( $M = 1,20$ ;  $DP = \pm 0,55$ ),  $F(1,9) = 8,58$ ,  $p = 0,01$ ,  $g = -1,70$ .

Por fim, realizamos uma comparação dos resultados do BIT *per* e BFIT *per* entre os participantes com e sem treinamento musical, em relação às distintas áreas cerebrais estimulada pela tDCS, mas independentemente da ordem da estimulação. Assim, houve diferenças significativas entre os dois grupos de participantes que receberam estimulação tDCS na área motora, tanto para o teste BIT *per* (Figura 33A), quanto para o teste BFIT *per* (Figura 33B). No entanto, não houve diferenças entre os grupos de participantes que receberam estimulação no cerebelo.

Para o BIT *per*, os participantes com treinamento musical sempre apresentaram uma média de tempo de resposta menor em comparação aos participantes sem treinamento musical. Isso ocorreu na primeira semana experimental, nas sessões pré-tDCS,  $F(1,27) = 5,61$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,87$  [com treino: ( $M = 3,59$ ;  $DP = \pm 3,67$ ); sem treino: ( $M = 7,97$ ;  $DP = \pm 5,98$ )] e pós-tDCS  $F(1,27) = 10,11$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = -1,17$  [com treino: ( $M = 2,02$ ;  $DP = \pm 2,34$ ); sem treino: ( $M = 6,28$ ;  $DP = \pm 4,55$ )]. Também foi verificado na segunda semana experimental, na sessão pós-tDCS  $F(1,27) = 5,39$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = -0,86$  [com treino: ( $M = 3,21$ ;  $DP = \pm 2,98$ ); sem treino: ( $M = 7,30$ ;  $DP = \pm 6,03$ )] (Figura 33A).

Os participantes com treinamento musical apresentaram o mesmo padrão de desempenho no teste BFIT *per*, ainda para aqueles que receberam estimulação na área motora. Esses participantes apresentaram menor média no tempo de resposta na primeira semana experimental, na sessão pós-tDCS,  $F(1,27) = 7,92$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = -1,03$  [com treinamento: ( $M = 3,49$ ;  $DP = \pm 2,50$ ); sem treinamento: ( $M = 8,11$ ;  $DP = \pm 5,78$ )] e na segunda semana experimental, nas sessões pré-tDCS,  $F(1,27) = 13,25$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = -1,34$  [com treino: ( $M = 2,37$ ;  $DP = \pm 2,65$ ); sem treino: ( $M = 6,97$ ;  $DP = \pm 3,98$ )] e pós-tDCS,  $F(1,27) = 14,26$ ,  $p < 0,01$ ,  $g = -1,39$  [com treino: ( $M = 2,49$ ;  $DP = \pm 2,47$ ); sem treino: ( $M = 7,34$ ;  $DP = \pm 4,21$ )].

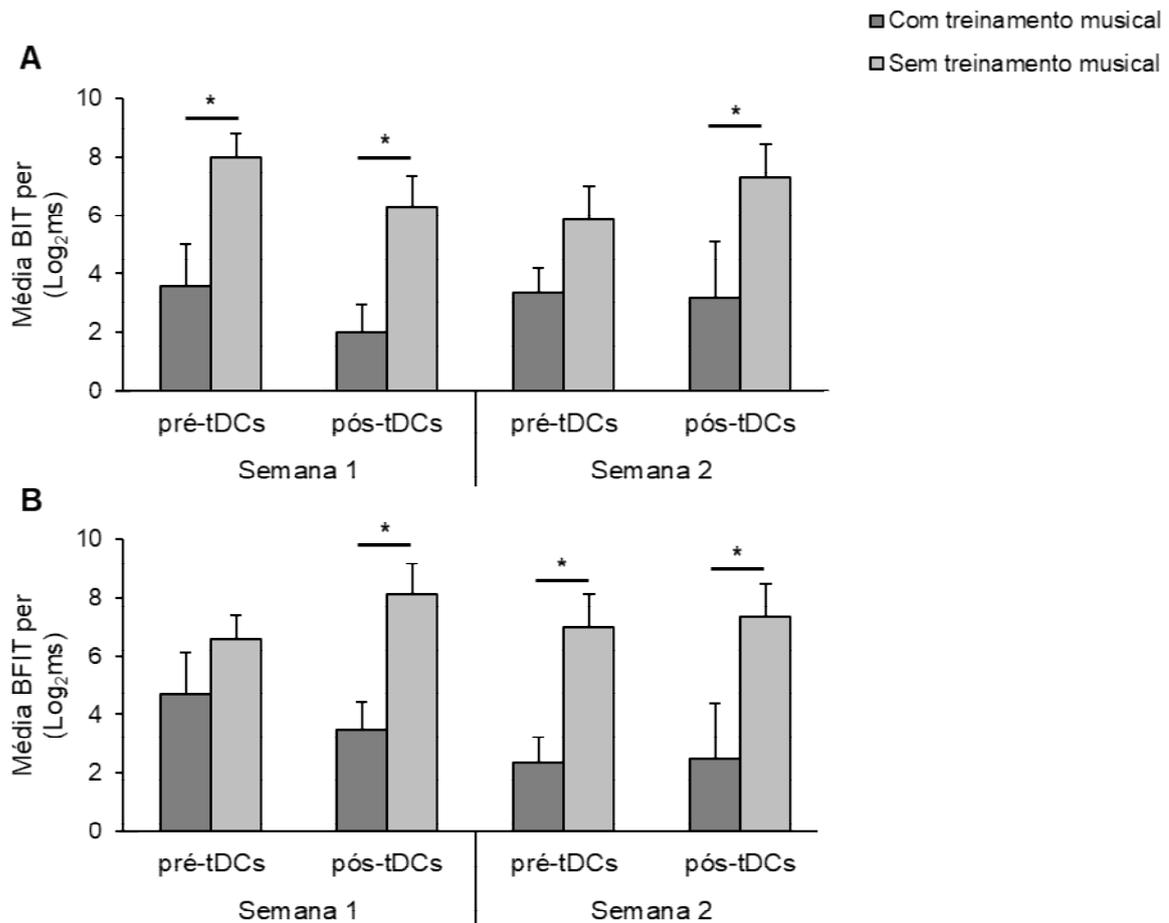


Figura 33. Média do tempo de resposta, em milissegundos, nos testes (A) BIT *per* e (B) BFIT *per*. Os resultados dos participantes com ( $n = 15$ ) e sem ( $n = 13$ ) treinamento musical, que receberam estimulação tDCS na área motora, são demonstrados para as pré e pós-tDCS, durante as duas semanas experimentais. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$

Em relação à correlação de Pearson, no teste BIT *per*, verificamos, para os participantes com treinamento musical, correlações com a idade, na sessão pré-tDCS ( $\rho = -0,523$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $\rho = -0,480$ ;  $p < 0,05$ ) da segunda semana experimental. Observamos ainda, correlações do desempenho no teste com o relato de quantos dias realizou a última prática musical. Essas correlações ocorreram na primeira semana experimental, na sessão pré-tDCS ( $\rho = 0,543$ ;  $p < 0,01$ ) e na segunda semana nas pré ( $\rho = 0,561$ ;  $p < 0,01$ ) e pós-tDCS ( $\rho = 0,507$ ;  $p < 0,05$ ). Para os participantes sem treinamento musical, verificamos apenas uma relação entre os anos de escolaridade e o desempenho na sessão pós-tDCS ( $\rho = -0,519$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental.

No teste BFIT *per*, a correlação de Pearson mostrou para os participantes com treinamento musical, uma correlação com o relato de quantos dias o participante realizou sua última prática musical ( $\rho = 0,503$ ;  $p < 0,05$ ), na sessão pré-tDCS da primeira semana experimental. Para os

participantes sem treinamento musical, foi observado uma correlação com a escolaridade, na sessão pós-tDCS ( $\rho=-0,621$ ;  $p < 0,05$ ) na primeira semana, e nas sessões pré ( $\rho= -0,501$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $\rho= -0,524$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental.

Na comparação realizada entre os participantes com e sem treinamento musical, o teste de Mann-Whitney, revelou diferenças no tempo de resposta no teste BIT percepção na primeira semana experimental pré-tDCS ( $U = 154,50$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $U = 127,50$ ;  $p < 0,05$ ) e na segunda semana apenas pós-tDCS ( $U = 130,50$ ;  $p < 0,05$ ). Ao comparar as duas semanas experimentais não foram verificadas diferenças para participantes com treinamento musical, porém, participantes sem treinamento musical apresentaram diferenças no BIT percepção pré-tDCS com um maior tempo de resposta na primeira semana ( $M= 8,62$ ;  $DP= \pm 5,06$ ) em comparação à segunda semana ( $M= 5,85$ ;  $DP= \pm 5,29$ ) ( $Z = -2,61$ ;  $p < 0,05$ ).

Da mesma forma, para o teste BFIT percepção, o teste de Mann-Whitney mostrou diferenças entre os participantes com e sem treinamento musical em relação ao tempo de reação, pré-tDCS ( $U = 189,50$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $U = 193,00$ ;  $p = 0,05$ ) na primeira semana e também na segunda semana experimental pré-tDCS ( $U = 115,50$ ;  $p < 0,01$ ) e pós-tDCS ( $U = 130,00$ ;  $p < 0,01$ ).

A comparação entre as semanas experimentais, no entanto, verificou diferenças para os participantes com treinamento musical, no teste BFIT percepção pré-tDCS ( $Z= -2,25$ ;  $p < 0,05$ ), no qual os participantes com treinamento musical apresentaram um tempo de resposta maior na primeira semana ( $M= 5,24$ ;  $DP= \pm 5,75$ ) em comparação com a segunda semana experimental ( $M= 2,53$ ;  $DP= \pm 2,67$ ). A diferença também foi verificada no BFIT percepção pós-tDCS ( $Z= -2,23$ ;  $p < 0,05$ ), também com participantes com treinamento musical apresentando um tempo de resposta maior na primeira semana experimental ( $M= 4,34$ ;  $DP= \pm 3,37$ ) em comparação à segunda semana ( $M= 2,55$ ;  $DP= \pm 2,08$ ).

Tabela 5. Desempenho dos participantes com treinamento musical no *Harvard Beat Assessment Test* (H-BAT) (n=25).

	MTT										BIT (ms)				BFIT (ms)					
	SI <sub>ARV</sub>				SI <sub>LRV</sub>				SI <sub>ENT</sub>				Per		Per		Per			
	Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
<i>Média</i>	-0,45	-0,39	-0,38	-0,34	0,71	0,71	0,73	0,69	0,29	0,29	0,30	0,30	4,89	3,28	4,56	3,57	5,24	4,34	2,53	2,55
<i>DP</i>	0,72	0,67	0,75	0,91	0,15	0,15	0,16	0,20	0,49	0,55	0,06	0,06	4,83	3,94	5,12	3,16	5,75	3,37	2,67	2,08
<i>Média – 2DP</i>	-1,89	-1,73	-1,88	-2,16	0,41	0,41	0,41	0,29	-0,69	-0,81	0,18	0,18	-4,77	-4,60	-5,68	-2,75	-6,26	-2,40	-2,81	-1,61
<i>Média + 2DP</i>	0,99	0,95	1,12	1,48	1,01	1,01	1,05	1,09	1,27	1,39	0,42	0,42	14,55	11,16	14,80	9,89	16,74	11,08	7,87	6,71
<i>Mínimo</i>	-2,85	-2,47	-2,50	-2,49	0,23	0,26	0,21	0,04	0,17	0,17	0,16	0,15	0,26	0,06	0,13	0,47	0,02	0,76	0,31	0,38
<i>Máximo</i>	0,58	0,59	1,05	1,36	0,85	0,90	0,91	0,91	0,36	0,39	0,40	0,40	17,50	15,83	18,33	11,25	20,00	12,50	8,75	10,21
<i>Amplitude</i>	3,43	3,06	3,55	3,84	0,62	0,64	0,70	0,87	0,19	0,22	0,24	0,25	17,24	15,78	18,20	10,78	19,98	11,74	8,44	9,83
<i>Percentil</i>																				
5	-2,39	-2,12	-2,32	-2,45	0,29	0,32	0,31	0,12	0,18	0,18	0,18	0,16	0,32	0,08	0,15	0,49	0,14	0,79	0,31	0,50
10	-1,24	-1,21	-1,56	-1,97	0,47	0,51	0,56	0,39	0,21	0,22	0,23	0,21	0,52	0,25	0,52	0,63	0,51	0,88	0,41	0,88
25	-0,84	-0,76	-0,82	-0,64	0,66	0,61	0,61	0,59	0,27	0,25	0,24	0,24	1,09	0,81	0,99	1,22	0,83	1,41	0,69	1,13
50	-0,39	-0,29	-0,15	-0,22	0,73	0,75	0,80	0,76	0,29	0,30	0,32	0,30	3,13	1,51	2,08	1,98	2,19	3,75	1,02	1,95
75	0,36	0,13	0,21	0,10	0,82	0,83	0,85	0,85	0,34	0,33	0,35	0,36	7,50	4,81	5,94	5,68	7,92	6,41	4,27	3,49
90	0,34	0,27	0,36	0,76	0,85	0,86	0,89	0,89	0,35	0,36	0,38	0,38	13,17	9,50	15,17	9,06	16,36	10,08	7,46	5,22
95	0,54	0,50	0,85	1,34	0,85	0,89	0,91	0,91	0,35	0,39	0,40	0,40	16,50	14,83	17,83	10,73	19,50	12,38	8,63	8,81
<i>Assimetria</i>	-1,50	-1,28	-1,08	-0,69	-1,88	-1,33	-1,46	-1,66	-0,89	-0,27	-0,32	-0,31	1,21	1,97	1,64	1,11	1,39	1,05	1,25	2,30
<i>Curtose</i>	3,96	2,40	1,97	1,14	4,15	2,24	3,03	3,24	0,67	-0,39	-0,69	-0,62	0,62	3,91	1,95	0,13	1,12	0,56	0,26	6,96

Foram avaliados três subtestes do H-BAT; *Music Tapping Test* (MTT), *Beat Interval Test* (BIT) e *Beat Finding and Interval Test* (BFIT). O MTT possui três índices de sincronização (SIs), sendo que os valores de SI<sub>ARV</sub> e SI<sub>LRV</sub> são expressos em graus. Os testes BIT e BFIT avaliaram a percepção (per) antes e após a tDCS.

Tabela 6. Desempenho dos participantes sem treinamento musical no *Harvard Beat Assessment Test* (H-BAT) (n=23).

	MTT										BIT (ms)				BFIT (ms)					
	SI <sub>ARV</sub>				SI <sub>LRV</sub>				SI <sub>ENT</sub>				Per		Per		Per			
	Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2		Semana 1		Semana 2	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
<i>Média</i>	-0,51	-0,61	-0,53	-0,71	0,55	0,53	0,61	0,59	0,24	0,24	0,25	0,25	8,62	6,43	5,85	7,43	7,16	6,89	6,01	6,01
<i>DP</i>	0,98	1,21	1,00	1,05	0,19	0,22	0,18	0,19	0,06	0,05	0,05	0,05	5,06	4,60	5,29	5,43	4,51	5,17	4,18	4,47
<i>Média – 2DP</i>	-2,47	-3,03	-2,53	-2,81	0,17	0,09	0,25	0,21	0,12	0,14	0,15	0,15	-1,50	-2,77	-4,73	-3,43	-1,86	-3,45	-2,35	-2,93
<i>Média + 2DP</i>	1,45	1,81	1,47	1,39	0,93	0,97	0,97	0,97	0,36	0,34	0,35	0,35	18,74	15,63	16,43	18,29	16,18	17,23	14,37	14,95
<i>Mínimo</i>	-2,21	-2,52	-2,39	-2,88	0,17	0,03	0,18	0,06	0,16	0,16	0,17	0,16	1,15	1,51	0,78	0,39	0,78	1,56	1,37	1,56
<i>Máximo</i>	1,59	2,38	1,54	1,26	0,90	0,81	0,84	0,87	0,38	0,33	0,34	0,37	18,33	15,00	20,00	17,50	15,21	18,33	15,83	15,83
<i>Amplitude</i>	3,80	4,91	3,93	4,14	0,73	0,78	0,66	0,81	0,22	0,17	0,17	0,21	17,19	13,49	19,22	17,11	14,43	16,77	14,46	14,27
<i>Percentil</i>																				
5	-2,20	-2,51	-2,36	-2,81	0,18	0,04	0,20	0,11	0,16	0,16	0,17	0,16	1,17	1,52	0,78	0,42	0,86	1,63	1,40	1,57
10	-1,94	-2,43	-2,08	-2,30	0,26	0,12	0,33	0,32	0,17	0,16	0,18	0,18	1,98	1,69	0,81	0,92	1,45	1,94	1,68	1,71
25	-1,23	-1,34	-1,49	-1,71	0,45	0,43	0,55	0,47	0,20	0,20	0,23	0,20	5,31	2,66	2,19	3,28	2,77	2,92	2,50	2,19
50	-0,49	-0,47	-0,41	-0,47	0,56	0,59	0,60	0,63	0,23	0,24	0,24	0,25	7,29	4,69	3,44	5,52	7,50	5,89	5,00	3,96
75	0,10	-0,25	-0,09	-0,17	0,67	0,69	0,79	0,74	0,28	0,27	0,31	0,30	12,08	10,00	8,02	11,67	10,31	8,75	7,50	8,96
90	0,94	1,27	1,06	0,72	0,81	0,77	0,83	0,80	0,33	0,31	0,33	0,32	17,83	14,67	14,67	16,67	15,00	17,33	14,00	13,83
95	1,48	2,20	1,48	1,21	0,88	0,81	0,84	0,86	0,37	0,32	0,34	0,36	18,33	15,00	19,00	17,33	15,17	18,33	15,67	15,50
<i>Assimetria</i>	0,23	0,51	0,03	-0,31	-0,15	-1,03	-0,66	-1,11	0,92	-0,06	0,30	0,24	0,72	0,74	1,32	0,56	0,36	1,20	1,07	0,87
<i>Curtose</i>	-0,21	0,70	0,06	-0,23	-0,31	0,16	0,23	1,58	0,66	-0,69	-0,95	-0,19	-0,24	-0,86	0,97	-0,92	-0,86	0,49	0,44	-0,45

Foram avaliados três subtestes do H-BAT; *Music Tapping Test* (MTT), *Beat Interval Test* (BIT) e *Beat Finding and Interval Test* (BFIT). O MTT possui três índices de sincronização (SIs), sendo que os valores de SI<sub>ARV</sub> e SI<sub>LRV</sub> são expressos em graus. Os testes BIT e BFIT avaliaram a percepção (*per*) antes e após a tDCS.

O quarto objetivo do presente estudo foi avaliar o desempenho dos idosos com e sem treinamento musical diante de uma tarefa de aprendizagem de digitação motora, antes e após a aplicação da tDCS. A seguir, serão apresentados os resultados do teste SEQTAP, que mensurou o tempo de resposta e os acertos de uma tarefa de aprendizagem de digitação motora.

#### 6.6. SEQUENTIAL FINGER TAPPING TASK (SEQTAP) – TAREFA DE APRENDIZAGEM DE SEQUÊNCIA MOTORA

Os resultados do teste SEQTAP serão apresentados em termos dos desempenhos dos participantes quanto à soma de acertos e quanto à sua média de tempo de reação (TR) em cada sessão, considerando que os participantes realizaram a Tarefa de Aprendizagem de Sequência Motora nas duas semanas experimentais, nos períodos pré e pós estimulação por tDCS.

As análises revelaram que os participantes com treinamento musical, que receberam estimulação na ordem “sham”/real, apresentaram diferenças em relação à média do TR pré e pós-tDCS, durante a segunda semana experimental ( $Z = -2,49$ ,  $p = 0,01$ ,  $r = -0,75$ ). Houve uma redução da média do TR na sessão pós-tDCS ( $M = 2,71e^4$ ;  $DP = \pm 3,72e^4$ ) em comparação com a sessão pré-tDCS ( $M = 2,95e^4$ ;  $DP = \pm 4,09e^4$ ) (Figura 34A). Para os participantes que receberam estimulação na ordem real/”sham” essa mesma diferença foi verificada logo na primeira semana experimental ( $Z = -3,30$ ,  $p < 0,01$ ,  $r = -0,88$ ). Também ocorreu uma redução na média do TR da sessão pós-tDCS ( $M = 3,13e^4$ ;  $DP = \pm 4,20e^4$ ) em comparação à sessão pré-tDCS ( $M = 3,82e^4$ ;  $pDP = \pm 5,10e^4$ ) (Figura 34A).

Em relação aos acertos no teste SEQTAP, apenas os participantes com treinamento musical que receberam estimulação real/”sham” apresentaram diferenças na média de acertos na primeira semana experimental,  $t(12) = -2,83$ ,  $p = 0,01$ ,  $\Delta = 0,70$ . Esses participantes apresentaram mais acertos na sessão pós-tDCS ( $M = 28,38$ ;  $DP = \pm 1,39$ ) em comparação à sessão pré-tDCS ( $M = 26,38$ ;  $DP = \pm 2,84$ ) (Figura 35A).

Os participantes sem treinamento musical, que receberam estimulação na ordem “sham”/real, apresentaram diferenças pré e pós-tDCS, na primeira semana experimental ( $Z = -2,82$ ,  $p < 0,01$ ,  $r = -0,82$ ). A média do TR foi menor na sessão pós-tDCS ( $M = 1,80e^4$ ;  $DP = \pm 3,54e^4$ ), em comparação à sessão

pré-tDCS ( $M = 2,12e^4$ ;  $DP = \pm 4,10e^4$ ) (Figura 34B). Para aqueles que receberam estimulação real/"sham" a diferença ocorreu na segunda semana experimental ( $Z = -2,19$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = -0,69$ ). A média do TR foi menor na sessão pré-tDCS ( $M = 3,40e^4$ ;  $DP = \pm 4,94e^4$ ) em comparação à sessão pós-tDCS ( $M = 3,71e^4$ ;  $DP = \pm 4,73e^4$ ) (Figura 27B). Em relação aos acertos no SEQTAP não houve diferenças significativas entre os grupos (Figura 35B).

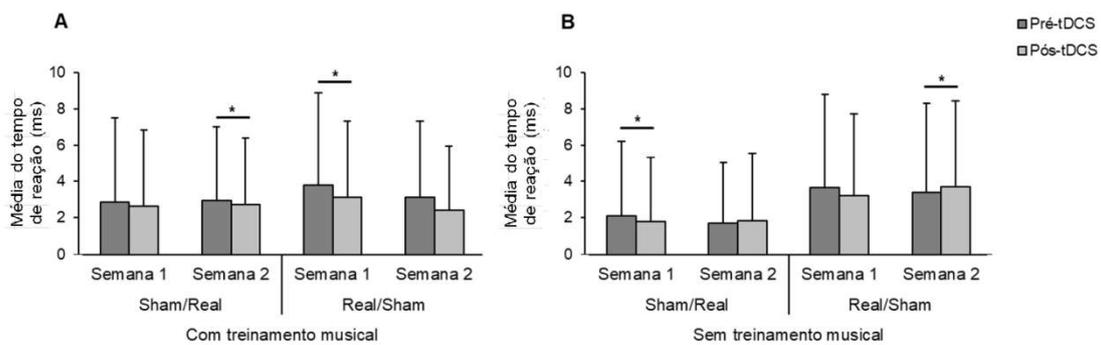


Figura 34. Média do tempo de reação (TR), em milissegundos, no teste SEQTAP. Os dados mostram o TR durante a 1ª e a 2ª semana experimental, para os participantes que receberam a estimulação tDCS na ordem "sham"/real ou real/"sham", sendo em (A) os participantes com treinamento musical e em (B) aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. Os valores de TR são dados na constante  $e^4$ . \* $p < 0,05$ .

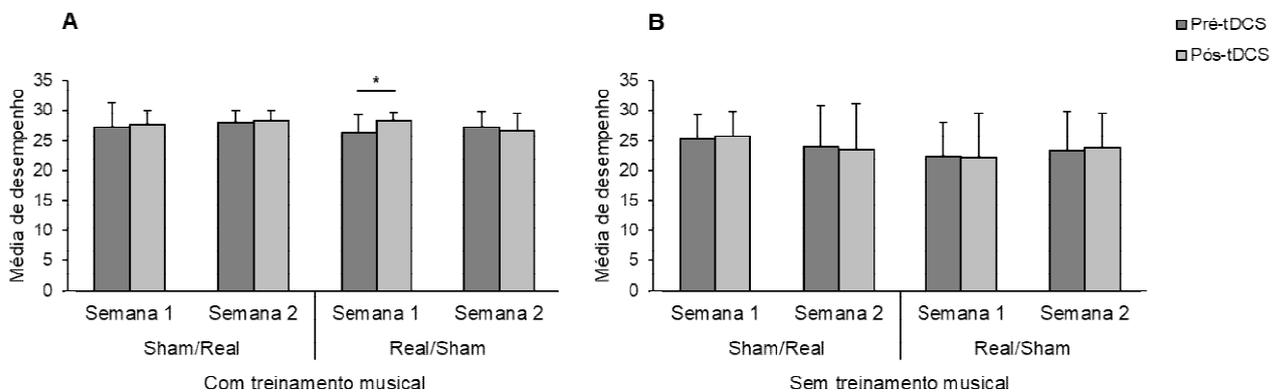


Figura 35. Média de desempenho no teste SEQTAP. Os dados mostram o desempenho durante a 1ª e a 2ª semana experimental, para os participantes que receberam a estimulação tDCS na ordem "sham"/real ou real/"sham", sendo em (A) os participantes com treinamento musical e em (B) aqueles sem treinamento musical. A barra de erro representa o desvio padrão. \* $p < 0,05$ .

Quando comparamos a média do tempo de resposta pré e pós-tDCS em relação as áreas cerebrais estimuladas pela tDCS (área motora e cerebelo), os participantes com treinamento musical apresentaram diferenças significativas nas duas áreas. Na área motora, a diferença foi verificada na primeira semana experimental ( $Z = -3,41$ ,  $p < 0,01$ ,  $r = -0,88$ ), com os participantes apresentando um TR maior na sessão pré-tDCS ( $M = 3,51e^4$ ;  $DP = \pm 4,86e^4$ ) em comparação

a sessão pós-tDCS ( $M = 2,95e^4$ ;  $DP = \pm 4,12e^4$ ) (Figura 36). No cerebelo, a diferença foi verificada na segunda semana experimental ( $Z = -2,50$ ,  $p = 0,01$ ,  $r = -0,79$ ). Novamente os participantes apresentaram maior TR na sessão pré-tDCS ( $M = 2,83e^4$ ;  $DP = \pm 4,33e^4$ ) em comparação à sessão pós-tDCS ( $M = 2,46e^4$ ;  $DP = \pm 3,76e^4$ ) (Figura 36).

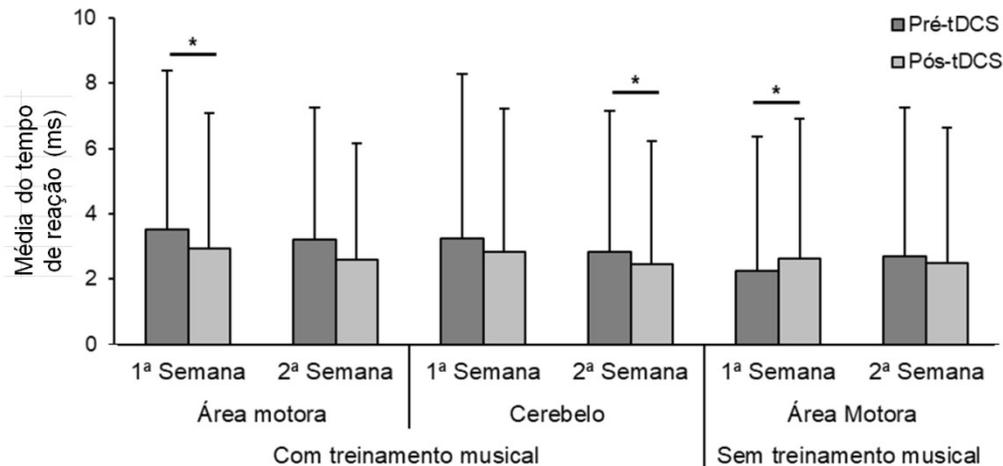


Figura 36. Média do tempo de reação (TR), em milissegundos, no teste SEQTAP. Os dados mostram o TR durante a 1ª e a 2ª semana experimental, pré e pós a tDCS. À esquerda os participantes com treinamento musical que receberam a estimulação tDCS na área motora e cerebelo e à direita os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação tDCS na área motora. A barra de erro representa o desvio padrão. Os valores de TR são dados na constante  $e^4$ . \* $p < 0,05$

Em relação aos acertos dos participantes com treinamento musical, verificamos efeito quanto à ordem de estimulação para os participantes que tiveram área motora estimulada, na primeira semana experimental na sessão pré-tDCS  $F(1,14) = 5,11$ ,  $p < 0,05$ ,  $g = 1,37$ . Os participantes que receberam estimulação na ordem "sham"/real apresentaram maior desempenho ( $M = 30,00$ ;  $DP = \pm 0,00$ ) do que os que receberam na ordem real/"sham" ( $M = 26,17$ ;  $DP = \pm 2,86$ ). Não foi possível realizar essa mesma análise para os dados do cerebelo, pois um dos subgrupos era composto por apenas um indivíduo.

Ainda em relação às áreas cerebrais estimuladas, os participantes com treinamento musical que receberam estimulação na área motora apresentaram diferenças pré e pós-tDCS na primeira semana experimental  $t(13) = -2,35$ ,  $p < 0,05$ ,  $\Delta = 0,58$ . Houve um aumento do desempenho pós-tDCS ( $M = 28,43$ ;  $DP = \pm 1,45$ ) em comparação à sessão pré-tDCS ( $M = 26,71$ ;  $DP = \pm 2,97$ ) (Figura 30). Também foram verificadas diferenças para os participantes que tiveram o

cerebelo estimulado, dessa vez na segunda semana experimental  $t(7) = -2,30$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $\Delta = 0,50$ . O desempenho na estimulação pós-tDCS ( $M = 28,50$ ;  $DP = \pm 1,41$ ) foi maior que na pré-tDCS ( $M = 26,88$ ;  $DP = \pm 3,23$ ) (Figura 37).

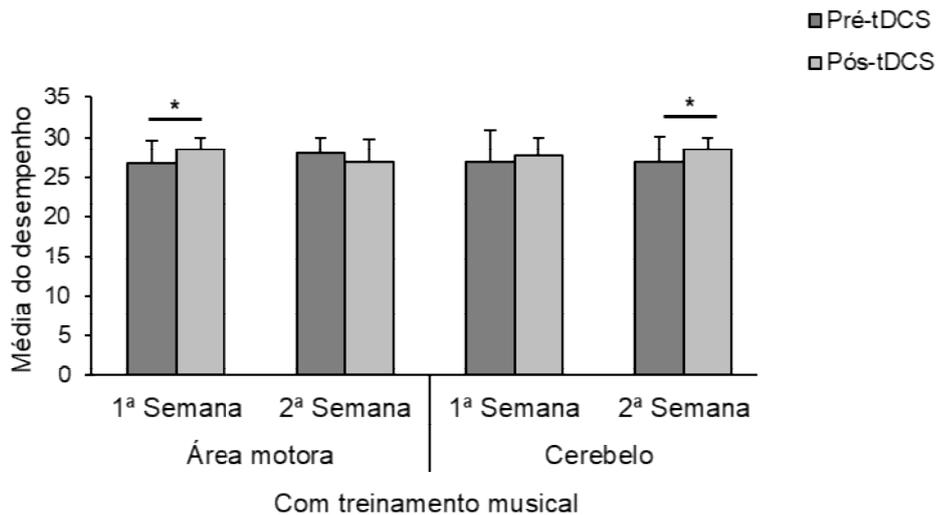


Figura 37. Média do desempenho no teste SEQTAP. Os dados a média de acertos durante a 1ª e a 2ª semana experimental, pré e pós a tDCS. À esquerda os participantes com treinamento musical que receberam a estimulação tDCS na área motora e à direita os que receberam estimulação no cerebelo. A barra de erro representa o desvio padrão.\* $p < 0,05$

Ao analisar as áreas cerebrais estimuladas pela tDCS (área motora e cerebelo), para os participantes sem treinamento musical, foi verificada diferença entre as sessões pré e pós-tDCS na primeira semana experimental apenas para os participantes que receberam estimulação na área motora ( $Z = -2,28$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,66$ ). A média de TR foi maior na sessão pós-tDCS ( $M = 2,64e^4$ ;  $DP = \pm 4,28e^4$ ) em comparação com a semana pré-tDCS ( $M = 2,24e^4$ ;  $DP = \pm 4,12e^4$ ) (Figura 29). Em relação aos acertos, não foi verificada diferenças de desempenho quanto à ordem de estimulação ou quanto a área estimulada nas sessões pré e pós-tDCS.

Quando comparamos o TR quanto à ordem de estimulação (“sham”/real, real”/sham”), verificamos efeitos na primeira semana experimental, tanto na sessão pré-tDCS ( $U = 26,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,48$ ) quanto na sessão pós-tDCS ( $U = 31,00$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $r = 0,41$ ). Posteriormente, realizamos uma análise em relação à área estimulada pela tDCS. Verificamos efeito para os participantes que receberam estimulação na área motora, na primeira semana experimental, nas sessões pré-tDCS ( $U = 6,00$ ,  $p \leq 0,05$ ,  $r = 0,55$ ) e pós-tDCS ( $U = 6,00$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,59$ ).

Por fim, ainda em relação às áreas estimuladas, o teste de Wilcoxon mostrou diferenças na média do TR para os participantes que receberam estimulação na área motora durante a primeira semana experimental ( $Z = -2,28$ ,  $p < 0,05$ ,  $r = 0,66$ ). Os participantes sem treinamento musical apresentaram uma média de tempo de resposta maior na sessão pós-tDCS ( $M = 2,64e^4$ ;  $DP = \pm 4,28e^4$ ), em comparação à sessão pré-tDCS ( $M = 2,24e^4$ ;  $DP = \pm 4,12e^4$ ).

As correlações entre o desempenho e os dados demográficos e musicais da amostra nas sessões do SEQTAP para os participantes com e sem treinamento musical, não foram encontradas mediante o teste de Pearson. A correlação de Spearman, por outro lado, mostrou uma correlação positiva e fraca entre a idade de início de treinamento musical e a média do TR. Essa correlação foi verificada na primeira semana experimental na sessão pós-tDCS ( $\rho = 0,447$ ;  $p < 0,05$ ), e na segunda semana experimental na sessão pré-tDCS ( $\rho = 0,432$ ;  $p < 0,05$ ), ambos para os participantes com treinamento musical.

A comparação entre participantes com e sem treinamento musical no teste SEQTAP, por meio do teste de Mann-Whitney revelou diferenças significativas no tempo de resposta entre os participantes com e sem treinamento musical na primeira semana experimental, pré-tDCS ( $U = 181,00$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $U = 168,00$ ;  $p < 0,05$ ). Essa diferença também foi encontrada para o desempenho de participantes com e sem treinamento musical na pré-tDCS ( $U = 136,00$ ;  $p < 0,05$ ) e pós-tDCS ( $U = 114,50$ ;  $p < 0,05$ ) na segunda semana experimental.

Ao analisar os grupos separadamente, pelo teste de Wilcoxon, verificamos que os participantes com treinamento musical apresentaram um maior tempo de reação na pré-tDCS ( $M = 34072,60$ ;  $DP = 48296,47$ ) em comparação à pós-tDCS ( $M = 29091,40$ ;  $DP = 41285,90$ ) na primeira semana experimental ( $Z = -3,24$ ,  $p < 0,01$ ). Na segunda semana o maior tempo de reação ocorreu na pós tDCS ( $Z = -2,19$ ,  $p < 0,05$ ).

Em relação ao desempenho no teste SEQTAP, na primeira semana experimental, os participantes com treinamento musical apresentaram um maior número de acertos após a tDCS ( $Z = -1,97$ ,  $p < 0,05$ ). Para participantes sem treinamento musical, o teste de Wilcoxon mostrou apenas diferenças entre pré e pós-tDCS no tempo de reação na primeira semana experimental. Os dados estão representados no APÊNDICE H.

Em síntese, os resultados apresentados sugerem que a tDCS não provocou efeito nos testes cognitivos. Nos testes CANTAB foram verificados prováveis efeitos negativos entre os participantes sem treinamento musical. No teste SEQTAP e nos testes H-BAT: MTT, BIT e BFIT os efeitos foram verificados para os participantes com e sem treinamento musical. Os resultados obtidos serão discutidos na próxima sessão.

## 7. DISCUSSÃO

Este estudo teve como objetivo geral investigar os benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS para idosos com e sem treinamento musical. As análises realizadas a partir dos resultados dos diferentes instrumentos utilizados para fins da investigação evidenciaram que a tDCS exerceu influência sobre a produção/sincronização, percepção e o desempenho rítmico-musical no grupo de participantes com treinamento musical comparado ao grupo controle.

Considerando a investigação referente à avaliação das funções executivas foi verificado que, no teste MoCA, os dois grupos examinados (com e sem treinamento musical) eram homogêneos entre si do ponto de vista cognitivo e demonstrou similaridade nas pontuações obtidas. Tal homogeneidade foi apontada na análise de que a maior parte da amostra apresentou leve comprometimento cognitivo. Esse resultado é análogo a estudos da literatura consultada, que sinalizam a ocorrência do declínio cognitivo progressivo relacionado à idade, por volta dos 60 anos. Tal declínio envolve as funções executivas, tais como atenção e memória operacional, que geram, por exemplo, comprometimento no pensamento abstrato, elemento testado no teste MoCA. Esse declínio é apontado como natural e está relacionado a mudanças estruturais do cérebro ao final da idade adulta, tal como a diminuição do volume do hipocampo (163) (30) (16) (67) (63).

Entretanto, estudos recorrentes têm mostrado que as atividades musicais podem atuar como potencializadoras das funções cognitivas e como fator de proteção contra o declínio cognitivo decorrente do envelhecimento (164) (30). Vários estudos têm revelado, por exemplo, que o treinamento musical, ainda que em nível amador, pode exercer impactos positivos sobre a plasticidade cerebral. Estudos demonstram que a prática musical pode inclusive provocar o aumento da neurogênese no hipocampo (165) (16) (32) (33).

No presente estudo, esperávamos encontrar maior escore cognitivo para os participantes com treinamento musical, entretanto, notamos que a hipótese de que o treinamento musical favorece o desenvolvimento cognitivo (52, 65)

não foi confirmada, em que pese que a testagem dessa hipótese não era finalidade do presente estudo.

Estudos na literatura apontam maiores escores cognitivos em indivíduos com treinamento musical em relação aos que não possuem treinamento musical. No presente estudo, diferentemente desses, isto não foi observado. Esse resultado é antagônico ao encontrado, por exemplo, por Hanna-Pladdy & Mackay (2011), que investigaram participantes músicos e não músicos idosos com idades entre 60 e 83 anos e identificaram diferenças significativas entre músicos de baixa e alta atividade e não músicos em relação aos desempenhos de nomeação, memória não verbal, velocidade visuomotora e flexibilidade cognitiva, entre outros (26). De maneira semelhante, o estudo recente de Abraham et al. (2019), avaliou a memória neutra ou emocional em idosos com ou sem conhecimento musical formal. A amostra foi composta por idosos, músicos e não músicos, com idades entre 60 e 90 anos. O estudo também encontrou melhor desempenho na memória episódica dos participantes músicos em comparação aos não músicos (166). Contudo, como os testes MoCA e CANTAB utilizados são apenas testes de rastreio, talvez a sua sensibilidade não tenha sido suficiente para a identificação de possíveis diferenças entre os grupos de idosos. Presumivelmente, a utilização de outros testes cognitivos poderia concorrer para a obtenção de resultados distintos.

Ainda no que concerne às funções executivas, o efeito da tDCS parece não ter sido verificado no teste STROOP, uma vez que não foram apresentadas diferenças significativas entre indivíduos com treinamento musical em decorrência da aplicação da tDCS. As diferenças significativas apresentadas foram verificadas na segunda semana para participantes com treinamento musical, contudo, esses efeitos não podem ser atribuídos à ação da tDCS, pois o resultado significativo foi decorrente da estimulação falsa na semana anterior ("sham"/real). Dessa forma, infere-se que tal resultado pode ser atribuído a características pessoais dos participantes da amostra, tais como experiência anterior ou até mesmo ao treinamento musical desses indivíduos (Figura 22A). Por outro lado, os participantes sem treinamento musical não apresentaram diferenças no desempenho do teste de STROOP entre as semanas (Figura 22B).

De forma diversa, o estudo de Seinfeld et al. (2013), realizado com idosos praticantes de aulas de piano em grupo revelou evidências de que o

treinamento musical pode beneficiar as funções executivas. No referido estudo, idosos que realizaram treinamento musical ao piano por apenas 4 meses apresentaram melhorias no Teste STROOP, refletindo um aprimoramento do controle inibitório. Este incremento não foi verificado para o grupo controle (33).

Na mesma perspectiva, o estudo de Koshimori & Thaut (2019), também realizado com músicos e não músicos, concluiu que a atenção executiva é mais eficaz nos músicos e que o treinamento musical sistemático pode levar ao controle atencional inibitório. Além disso, o estudo mostrou que essa rede aumenta de acordo com os anos de formação musical (58). Estudo de Criscuolo et al. (2019), com adultos músicos e não músicos também encontrou desempenho significativamente maior em músicos em comparação com não músicos em testes cognitivos, dentre eles, o STROOP (49). De igual modo, o estudo de Strong & Mast (2017), examinou semelhanças e diferenças nos perfis cognitivos de instrumentistas idosos de baixa e alta performance em comparação com indivíduos não músicos e encontraram diferenças apenas em domínios cognitivos selecionados como habilidades visuais e espaciais, nomeação e funções executivas (167).

Em relação aos desfechos do presente estudo, há que se considerar que o resultado obtido pode estar relacionado ao fato de que em grande parte das pesquisas com músicos e não músicos, tais como o estudo de Seinfeld et al. (2013), Bugos (2007) e James et. al (2020), observa-se a intervenção do pesquisador sobre o grupo de músicos com atividades musicais previamente direcionadas, além de treinamento intensivo por determinado período de tempo, o que pode favorecer o surgimento de diferenças significativas. Por outro lado, no atual estudo, as diferenças talvez não tenham sido apresentadas no teste STROOP, considerando-se que os dois grupos apresentaram desempenho próximo ao máximo (possível efeito teto).

Em relação às correlações encontradas entre os participantes com treinamento musical (positiva e moderada para idade – omissões. Tal correlação indica que no teste STROOP, quanto maior a idade do participante, maior o número de omissões. Esse resultado é compatível com estudos anteriores (50) (60) (30). Da mesma forma, a correlação positiva e moderada entre a idade e os erros cometidos na segunda semana entre os participantes sem treinamento musical indica que quanto maior a idade, mais erros foram cometidos no teste STROOP. Considerando que o teste STROOP aplicado

reflete a capacidade de controle inibitório dos idosos, o resultado que encontramos está em consonância com estudos que evidenciam que adultos idosos mais velhos apresentam déficits de controle inibitório, como dificuldades em inibir distrações visuais e de suprimir estímulos que deveriam ser ignorados (47) (59) (60) (61) (62) (16).

Apesar de não terem sido verificadas diferenças significativas no desempenho dos participantes nos testes MoCA e STROOP, o desempenho nos testes da bateria CANTAB, também relacionados às funções executivas, sofreram influência da tDCS. O fato de não ter sido encontrada nenhuma diferença significativa ou correlação entre os grupos no teste MOT, da bateria CANTAB, pode-se ser possivelmente explicado pelo fato de que, apesar da idade, ambos os grupos possuíam capacidade motora e auditiva preservada para participar da pesquisa e desempenhar os testes propostos, considerando que o teste MOT permite analisar possível existência de déficits sensoriomotores ou auditivos que possam interferir no desempenho do participante e causar limitação na coleta de dados.

Em relação testes CANTAB, verificou-se, no teste PALMET, o efeito da tDCS na segunda semana para os participantes sem treinamento musical que receberam estimulação na ordem real/"sham". Este resultado pode ser atribuído à ação da tDCS na semana anterior, porém, verificou-se uma provável ação negativa, considerando-se que o número médio de erros para concluir o teste aumentou na segunda semana, em comparação com a primeira semana.

Esse resultado é incompatível com pesquisas a respeito da tDCS na cognição/ memória visual como é o caso do teste PALMET. No estudo de Bashir et al. (2022), que utilizou testes da bateria CANTAB antes e após a estimulação por tDCS e avaliou o efeito de uma sessão única de tDCS anódica sobre a área M1 nas funções cognitivas: controle inibitório, memória de reconhecimento visual em adultos saudáveis, os resultados sugeriram que, comparada à estimulação simulada, a tDCS real foi capaz de melhorar o controle inibitório e a memória de reconhecimento visual (168).

Apesar dos possíveis efeitos negativos da tDCS em indivíduos sem treinamento musical, no teste PALMET não foi verificado o efeito da tDCS entre os participantes com treinamento musical, uma vez que as diferenças significativas apresentadas ocorreram apenas na primeira semana. Tais

diferenças podem ser explicadas por fatores pré-existentes, uma vez que os testes CANTAB só foram aplicados na primeira semana, anteriormente à estimulação por tDCS. Tais dados indicam que a tDCS não exerceu efeito sobre os participantes com treinamento musical no respectivo teste. Assim, o maior efeito foi identificado em participantes sem treinamento musical.

Em contrapartida, a comparação entre o desempenho de participantes com e sem treinamento musical no teste PAL revelou que no índice PALFAMS, houve melhor desempenho dos participantes com treinamento musical nas duas semanas experimentais. Considerando que o PALFAMS avalia o número de vezes em que um sujeito escolheu a caixa correta em sua primeira tentativa, ao relembrar os locais do padrão, o resultado apresentado sugere que os participantes com treinamento musical demonstraram melhor aprendizado associativo visual e memória episódica quando comparados aos indivíduos sem treinamento musical.

Da mesma forma, os participantes sem treinamento musical apresentaram resultado semelhante na medida PALTEA, que avalia o número de vezes em que o sujeito escolheu a caixa incorreta. No PALTEA, participantes sem treinamento musical apresentaram maior desempenho em ambas as semanas em comparação aos participantes com treinamento musical. Tal resultado sugere, entretanto, que houve maior número de erros entre participantes sem treinamento musical. Esse resultado vai ao encontro de resultados de estudos como a revisão sistemática de Román-Caballero et al. (2018), cujos estudos analisados verificaram benefícios na memória episódica, dentre outras funções cognitivas, em virtude do treinamento musical.

É importante ressaltar que as correlações encontradas se estenderam também ao grupo de participantes sem treinamento musical. Nas correlações negativas moderadas encontradas nos testes PALFAMS e PALTEA, nas duas semanas, pode-se inferir que, na medida em que a idade dos participantes aumentou, pior foi o desempenho apresentados por eles nos testes. Nesse sentido, Román-Caballero et al. (2018) esclarecem que a maior parte das diferenças relacionadas à idade em medidas cognitivas está associada a mudanças em grupos de funções como capacidade sensorial, velocidade de pensamento e inibição. O aumento da complexidade de tarefas na avaliação dessas funções afeta o desempenho de indivíduos mais velhos em comparação com os mais jovens. Tal efeito parece ocorrer principalmente em

virtude do declínio em processos de alto nível, como a memória de trabalho (30).

No que concerne ao teste SWMS, observa-se, novamente, que a tDCS não surtiu efeito entre os participantes com treinamento musical. Esses achados contrastam com a literatura concernente ao poder cognitivo advindo das práticas musicais. Bugos et al. (2007), por exemplo, ministraram aulas de piano para idosos durante 6 meses e revelaram a existência de melhorias nas funções executivas e memória de trabalho em decorrência do treinamento musical (27). De forma semelhante, Seinfeld et al. (2013), estudaram os efeitos do treinamento musical versus atividades de lazer em idosos. Um grupo participou de aulas de piano por 4 meses e outro grupo participou de atividades de lazer. Foram verificados resultados positivos nas funções cognitivas, tais como o controle inibitório, além de melhora na habilidade motora no grupo que participou das aulas de piano. Essa melhora não ocorreu no grupo controle (33).

Diferentemente dos resultados dos testes PALFAMS e PALTEA, foi observada uma correlação negativa entre a idade e o desempenho no teste SWMS, para os participantes com treinamento musical. Tal resultado sugere que, na medida em que a idade aumenta, o desempenho em atividades cognitivas tendeu a diminuir. A esse respeito, estudos têm evidenciado a atrofia de áreas como o hipocampo no decorrer da idade, o que traz como consequência a diminuição do pensamento abstrato e déficits na memória de trabalho, memória de longo prazo, além da possibilidade do aumento do risco de demência (44) (63).

Ainda no que se refere ao teste SWMS, observou-se um efeito contrário ao esperado em participantes sem treinamento musical, considerando que os participantes que receberam estimulação na ordem real/"sham" tiveram um melhor desempenho na primeira semana e pior na segunda semana (com o efeito da estimulação da primeira semana). Isso pode significar que a tDCS não produziu efeito entre a primeira e a segunda semana. Detectou-se ainda, que a estimulação real/"sham" na área motora aumentou o número de erros na segunda semana entre os indivíduos sem treinamento musical. Esse fato pode significar a interferência negativa da tDCS no desempenho dos indivíduos.

As diferenças verificadas na primeira semana, relacionadas à estimulação na área cerebelar para indivíduos com treinamento musical e à

estimulação na área motora, para indivíduos sem treinamento musical, não podem ser atribuídas ao efeito da tDCS, mas a características pré-existentes, considerando-se que a estimulação por tDCS só ocorreu após a aplicação dos testes CANTAB.

Verificou-se, ainda, uma correlação positiva no teste SWMBE8 para os participantes sem treinamento musical, o que significa que quanto maior a idade, melhor o desempenho apresentado no teste. Esse resultado contrasta com a literatura pesquisada.

As análises das comparações entre participantes com e sem treinamento musical no teste SWM revelaram que não houve diferenças significativas entre músicos e não músicos entre as duas semanas experimentais, o que reforça o argumento de que ambos os grupos possuíam características cognitivas homogêneas.

O estudo de Fiore et al. (2012), cujo objetivo foi examinar a capacidade atualização de informações em tarefas de memória verbal e visuoespacial, teve como participantes um grupo de 16 jovens adultos e 16 indivíduos idosos. Os resultados da pesquisa revelaram que, independentemente do domínio da tarefa, foi encontrado um declínio no desempenho de atualização relacionado à idade. O grupo de idosos apresentou desempenho inferior quando comparados aos mais jovens, tanto na memória verbal quanto nas tarefas de atualização visuo-espaciais. Tal resultado confirmou a existência de declínio relacionado à idade na capacidade de atualização da memória de trabalho (62).

Gembris (2012) reafirma a existência da recorrência de prejuízos relacionados ao aumento da idade no funcionamento cognitivo e sensorial, além do fisiológico. Essas alterações influenciam o desempenho em atividades musicais. Essa influência é menor em adultos mais jovens e aumenta com o avançar da idade (60).

Apesar dos declínios inerentes à idade, no presente estudo, esperávamos desempenho superior nos testes cognitivos para os participantes com treinamento musical em virtude da prática instrumental. Ao contrário dos resultados que observamos no presente estudo, a pesquisa de Degé & Kerkovius (2018), que investigou os impactos do treinamento musical na memória de trabalho em participantes com idade média de 77 anos, demonstrou que os idosos músicos foram capazes de se lembrar de maior

número de palavras e símbolos quando comparados ao grupo sem treinamento musical (169).

De forma concisa, não foram observados benefícios da tDCS em relação aos testes cognitivos. As diferenças significativas se concentraram no grupo de indivíduos sem treinamento musical, com estimulação na área cerebelar. A estimulação não provocou efeitos ou provocou efeitos negativos, levando à piora no desempenho dos participantes sem treinamento musical nos testes PALMET e SWMS. Não foram observados efeitos nos indivíduos com treinamento musical.

No que concerne à investigação relativa à sincronização rítmico-musical, as análises específicas do teste MTT, da bateria H-BAT, revelaram que as diferenças significativas encontradas se concentraram nas duas semanas experimentais, principalmente com as estimulações realizadas na área motora, tanto para os participantes com treinamento musical como para os que não possuíam treinamento musical.

Os resultados obtidos no índice  $SI_{ARV}$  sugerem que a tDCS anódica sobre a área motora foi capaz de interferir e favorecer a capacidade de sincronização dos participantes com treinamento musical. Constatou-se que, embora o grupo que recebeu estimulação “sham”/real tenha apresentado uma menor média em comparação ao grupo real/”sham”, na primeira semana, pós-tDCS, a média do desempenho dos participantes apresentou valores negativos, o que indica que houve adiantamento de sua resposta à batida. Por outro lado, o grupo real/”sham” apresentou médias mais próximas ao valor de zero. Considerando-se que quanto mais próximo do valor zero, mais próximo da sincronização perfeita está a batida (106), esses resultados sugerem que a tDCS anódica na área motora produziu efeito na primeira semana após a estimulação real. Entretanto, observou-se que, na segunda semana, embora o grupo real/”sham” tenha apresentado médias maiores que o grupo “sham”/real, ocorreu uma mudança de comportamento de sincronização desse grupo, uma vez que as batidas passaram a ser realizadas após o tempo, ou seja, atrasadas.

Dessa forma, a diferença significativa encontrada pode indicar um efeito da estimulação da tDCS na área motora, embora, na segunda semana, a sincronização não tenha sido perfeita e tenha demonstrado o aumento dos valores. Esse efeito pode ter se estendido até a próxima semana, uma vez que

a média continuou apresentando aumento na sessão pré-tDCS da segunda semana. O argumento de que o efeito da tDCS ocorreu no grupo real/"sham" pode ser confirmado também quando se verifica que a estimulação "sham"/real não teve sua média aumentada no teste  $SI_{ARV}$  na primeira semana experimental, embora esse aumento tenha sido verificado na estimulação real/"sham" (Figura 28).

Esses resultados corroboram os resultados do estudo de Farnad et. al (2021), no que concerne ao efeito da estimulação por tDCS na área motora. A pesquisa teve como objetivo explorar a associação entre os parâmetros da tDCS e efeitos posteriores induzidos na excitabilidade cortical motora para determinar protocolos de estimulação ideais para indivíduos mais velhos. Participaram do estudo 32 sujeitos divididos em 2 grupos: idosos-jovens (de 50 a 65 anos) e idosos-idosos (a partir de 66 anos), os quais receberam tDCS anódica aplicada sobre o córtex motor primário, com combinações de três intensidades (1, 2 e 3 mA, respectivamente) e com durações de 15, 20 e 30 min. O estudo concluiu que em ambas as faixas-etárias, as condições de estimulação produziram um aumento significativo da excitabilidade cortical motora. Todas as condições de estimulação ativa resultaram em um aumento significativo da excitabilidade cortical motora em ambas as faixas etárias (170).

Na presente pesquisa, em termos dos participantes com treinamento musical que receberam estimulação na área cerebelar, observou-se a recorrência de médias negativas no índice  $SI_{ARV}$ . Tal comportamento sugere que houve o adiantamento na batida. Entretanto, na segunda semana, o grupo real/"sham" passou a apresentar resultados ainda mais negativos, demonstrando um adiantamento ainda maior na batida. Apesar das diferenças significativas encontradas, tal resultado sugere que a estimulação na área cerebelar possivelmente, não provocou um efeito satisfatório na sincronização das batidas antes e após as estimulações, e até provocou um efeito contrário, considerando que o índice  $SI_{ARV}$  está relacionado à acurácia da sincronização. Esse resultado é contrário ao de Wessel et al. (2016) que revelou a eficácia da estimulação cerebelar anódica no aprendizado de sequências motoras de sincronização (145).

Em contrapartida, para todos os participantes sem treinamento musical a estimulação na área motora foi a que apresentou maiores médias no índice

Sl<sub>ARV</sub> (sessões pré-tDCS), o que sugere maior ação da tDCS nessa região cortical.

Em relação aos índices que medem a consistência da sincronização, considerando-se que no índice Sl<sub>LRV</sub> quanto maior o valor, mais consistente o toque/batida, as maiores médias do Sl<sub>LRV</sub> para os participantes sem treinamento musical foram verificadas na estimulação “sham”/real na segunda semana, pós-tDCS. Tal resultado sugere que houve um efeito imediato da tDCS na mesma sessão experimental para o desempenho na tarefa de sincronização motora (Figura 29).

Em relação à área estimulada, as diferenças nos índices de sincronização para os participantes sem treinamento musical para o índice Sl<sub>LRV</sub> foram verificadas quando ocorreu estimulação na área motora. A estimulação “sham”/real, pós-tDCS produziu as maiores médias no desempenho dos participantes tanto na primeira quanto na segunda semana (Figura 30). Tal resultado pode sugerir o efeito da tDCS anódica na área motora (M1) sobre a sincronização dos idosos sem treinamento musical na segunda semana. Em contrapartida, esse resultado pode ter sido verificado em função de características pré-existentes dos indivíduos, uma vez que na primeira semana não se verificou um aumento da média entre os participantes real/“sham”.

Diferentemente do índice Sl<sub>LRV</sub>, para o índice Sl<sub>ENT</sub> do H-BAT, quanto menor o valor obtido, melhor o desempenho na tarefa de sincronização motora (162). Nossos resultados relacionados a este índice apontaram, no que se refere ao índice Sl<sub>ENT</sub>, que também foram verificados resultados similares ao Sl<sub>LRV</sub>, na segunda semana. Dessa forma, a menor média foi apresentada para o grupo real/“sham”, pós-tDCS (Figura 29B). Considerando que após a estimulação na primeira semana não foram apresentadas diferenças significativas, esse resultado pode não ser proveniente da estimulação na primeira semana. Entretanto, ao se verificar a interferência das áreas estimuladas nas diferenças verificadas, a estimulação na área motora produziu as menores médias dos participantes quando a ordem de estimulação foi real/“sham”, pós-tDCS, confirmando a sua provável interferência no índice de sincronização na pós-tDCS, uma vez que não foram verificadas diferenças quanto à ordem na estimulação cerebelar.

Considerando que tanto o  $SI_{ARV}$  quanto o  $SI_{ENT}$  estão associados à consistência ou precisão da batida, tais resultados sugerem a ação da estimulação da tDCS sobre a área motora na tarefa de sincronização. Os efeitos da tDCS na área motora (M1) têm sido descritos por estudos como o de Reis et al. (2009) e Prichard et al. (2014). No primeiro deles, a tDCS produziu a melhora no desempenho de tarefas motoras, cujos efeitos perduraram por até 90 dias após uma única sessão de tDCS anódica sobre a área M1 (144). No segundo estudo, indivíduos que foram submetidos à tDCS no córtex motor primário (M1) durante cinco dias consecutivos, enquanto praticavam uma tarefa de habilidade motora, apresentaram efeitos positivos quando comparados a um grupo “sham”. Esses efeitos foram verificados principalmente na forma offline (entre os dias) em comparação com o modo online (durante a sessão). Os resultados sugeriram que a área M1 é uma estrutura-chave para aperfeiçoar habilidades motoras e seus benefícios foram verificados 3 meses após o término do treinamento, o que pode ser considerado promissor para o treinamento de tarefas motoras (171).

As correlações relacionadas ao teste MTT encontradas para os participantes com treinamento musical evidenciaram que quanto maior o tempo dedicado à prática musical, melhor foi a consistência da sincronização no índice  $SI_{ENT}$ . Assim, quanto menor foi a idade de início do treinamento musical dos participantes, maior foi a consistência da sincronização ( $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$ ). Da mesma forma, quanto maior o tempo de treinamento, melhor o desempenho nos testes de consistência de sincronização ( $SI_{LRV}$ ). Esses resultados estão de acordo com o estudo de Fujii & Schlaug (2013) que encontraram correlações significativas entre a quantidade de horas praticadas e o grau de sincronização com a batida nos testes  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$ . Isto é, os indivíduos que tiveram o início do treinamento musical mais precoce, apresentaram maior grau de sincronização, o que indicou a sensibilidade do teste MTT ao efeito do treinamento musical. De igual modo, os autores encontraram correlação entre a idade de início do treinamento musical e o desempenho no teste BIT de produção. Assim, quanto mais cedo ocorrido o início do treinamento musical e quanto mais horas de prática instrumental, melhor foi o limiar de sincronização no teste (106).

Na mesma ótica, o estudo de Fujii et al. (2009), ilustra a interferência da idade de início de treinamento musical na precisão e rapidez na produção de

batidas. Os autores analisaram os fatores que levaram um baterista mais rápido do mundo a vencer um concurso. Considerando que o limite da frequência humana para batimentos rítmicos voluntários é de 5 a 7 Hz, correspondente a um intervalo entre toques (ITI) de 150 a 200 ms, o baterista conseguiu realizar movimentos de baqueta a 10 Hz (correspondente a um ITI de 100 ms). Entre outros fatores analisados, comparados aos grupos controle e a bateristas comuns, foram encontradas correlações entre a idade de início no instrumento e as médias de ITI (3 anos de idade). Este resultado evidenciou que o início precoce na bateria pode estar relacionado ao seu desempenho rítmico (172).

Entretanto, para os participantes sem treinamento musical, foram verificadas correlações positivas com a idade no índice  $SI_{LRV}$ . O mesmo ocorreu no  $SI_{ENT}$  para os indivíduos com treinamento musical. Para esse grupo de indivíduos, quanto mais velhos, melhor foi o desempenho apresentado na produção rítmica. Esses resultados estão em dissonância com a literatura pesquisada. Brinkmann et al. (2021), por exemplo, consideram que existem evidências de que as habilidades de tempo variam ao longo da vida e são afetadas pelo envelhecimento. Enquanto os intervalos entre toques espontâneos médios (ITI) são de aproximadamente 300 ms nas crianças, em idosos essa taxa é mais lenta (aproximadamente 650 ms). Tais mudanças podem ser verificadas, por exemplo, em tarefas de toque de dedo na ausência de um estímulo (173). Esses resultados mostram que o aumento da idade, traz consigo uma tendência à diminuição do desempenho em tarefas rítmicas, o que está associado ao envelhecimento dos sistemas motores e auditivo. Por outro lado, considerando-se o tempo de treinamento dos participantes do presente estudo ( $41,04 \pm 25,06$  anos), o desfecho observado de melhoria da sincronização com o aumento da idade pode refletir o aprimoramento rítmico no público com treinamento musical.

Em síntese, as análises do teste MTT revelaram que, para todos os índices ( $SI_{ARV}$ ,  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$ ) foram verificados maiores efeitos quando foi estimulada a área motora, tanto para os participantes com treinamento musical quanto para os sem treinamento. Os resultados sugerem a ação da tDCS tanto na consistência da batida, quanto na sincronização. A estimulação cerebelar aparentemente não provocou efeitos significativos nas tarefas motoras

testadas. Para os indivíduos com treinamento musical, quanto maior o tempo de treinamento, maior foi a consistência da sincronização ( $Sl_{ENT}$ ).

As comparações realizadas entre o desempenho de participantes com e sem treinamento musical revelaram diferenças nos índices  $Sl_{LRV}$  e  $Sl_{ENT}$  nas duas semanas experimentais, pré e pós tDCS, entretanto, as análises individuais para cada uma das condições (com e sem treinamento musical) não encontraram diferenças entre a pré e pós-tDCS, nem entre as semanas experimentais. Tal resultado sugere que, provavelmente, não houve diferenças no desempenho dos grupos verificados individualmente, na pré e pós-tDCS, o que pode indicar que não houve efeito da estimulação. Entretanto, comparando o desempenho dos dois grupos (com e sem treinamento) foram observadas diferenças no  $Sl_{LRV}$  e  $Sl_{ENT}$ . As diferenças pré-tDCS mostram que os grupos já apresentavam uma diferença de desempenho no teste mesmo antes de receber a estimulação. Essa diferença no desempenho continuou após a aplicação da tDCS, sendo que os participantes músicos apresentaram melhor desempenho. Na visão de Iannarilli et al. (2013), o desempenho rítmico superior apresentado pelos participantes idosos com treinamento musical pode se relacionar à consistência na memória, em recursos atencionais, além da preservação de habilidades motoras decorrentes do treinamento musical.

Convém ressaltar, em relação aos resultados obtidos nos testes H-BAT, que tais testes, utilizados no presente trabalho, foram adaptados para o sistema IOS (originalmente a versão era para o MATLAB). Tal adaptação apresentou alguns ruídos na obtenção dos dados de todos os subtestes. Esses ruídos são referentes a um pequeno atraso (*delay*) no tempo de obtenção das respostas realizadas pelos participantes. Dessa forma, algumas medidas podem ser mais influenciadas pela presença desse erro sistemático do que outras. Dessa forma, nos dados do MTT, o índice de sincronização  $Sl_{ARV}$  não é uma medida estável e muito confiável, pois é medida em graus e sofre mais influência deste atraso. Já  $Sl_{LRV}$  e  $Sl_{ENT}$  são medidas mais confiáveis e menos afetadas pelo "*delay/erro*" e por isso são medidas estáveis para se obter uma boa interpretação dos dados.

Em relação aos testes de percepção do H-BAT, os resultados do teste BIT evidenciam um menor limiar de percepção na sessão real/"sham", pós-tDCS na primeira semana para os participantes com treinamento musical

(Figura 24A). Esse resultado sugere um efeito positivo da tDCS durante a sessão, uma vez que na sessão pré-tDCS o limiar de percepção foi maior.

Por outro lado, na primeira e segunda semanas, para os participantes sem treinamento musical, o limiar de percepção foi menor na sessão pré-tDCS nas ordens de estimulação “sham”/real, na área motora, o que supostamente não sugere ação da tDCS, mas habilidades pré-adquiridas dos participantes. É importante salientar que tanto no teste BIT quanto no BFIT foram observadas diferenças significativas da tDCS principalmente nos participantes sem treinamento musical. Esse desfecho está em conformidade com os resultados do estudo de Sanchez-Kun (2018), que avaliaram os efeitos da tDCS sobre a área motora (M1) de músicos e não músicos, antes e após a estimulação anódica e cujos resultados positivos foram verificados apenas em indivíduos não-músicos (19).

Em relação ao teste BFIT, uma diferença foi observada entre os indivíduos com treinamento musical, na primeira semana, pós-tDCS na ordem real/“sham”. Nesse caso, a diferença sugere a ação da tDCS (Figura 31D). Entretanto, também foram encontradas diferenças significativas para esses indivíduos na segunda semana experimental para a estimulação “sham”/real pré-tDCS (Figura 31C). O menor limiar de percepção verificado, nesse caso, não sugere ação da tDCS, entretanto, pode sinalizar habilidades pré-adquiridas dos participantes. De acordo com Miyata et al. (2022), existem variações na capacidade de previsão temporal entre os indivíduos, o que pode refletir diferenças na atividade cerebral e na capacidade de pareamento neural entre os indivíduos. Assim, um pareamento neural mais forte na frequência da batida pode gerar maior capacidade de previsão (174). Além disso, os indivíduos possuem um relógio interno que, tal como um marcapasso, emite pulsos e uma memória de referência, que avalia o tempo e conta o número de pulsos emitidos. Dessa forma, determina-se individualmente não somente o grau de sincronização, mas também a capacidade individual de prever eventos ao longo do tempo (63).

No que concerne aos participantes sem treinamento musical, verificou-se diferença significativa na estimulação “sham”/real, pré-tDCS (BIT) na semana 2, o que provavelmente não se aplica ao efeito da tDCS (Figura 32A). Já no teste BFIT, as diferenças apareceram na semana 1, “sham”/real, pré-tDCS e na semana 2, também na estimulação pré-tDCS, o que novamente não

indica a ação da tDCS (Figura 32B). Para o teste BFIT, foram observadas evidências do efeito da tDCS, principalmente no cerebelo para os participantes sem treinamento musical.

Para a estimulação na área motora verificou-se que os indivíduos com treinamento musical apresentaram um limiar de percepção significativamente menor do que os indivíduos sem treinamento com estimulações na mesma área cerebral, nas duas semanas em sessões pré e pós-tDCS para os testes BIT e BFIT (Figura 33A).

Tal resultado corrobora o argumento de que músicos tendem a demonstrar um desempenho de percepção rítmica mais aguçada que pessoas sem treinamento musical. Nesse aspecto, a prática de um instrumento musical pode favorecer o aumento da reserva cognitiva e, conseqüentemente, pode permitir melhores estratégias em tarefas de percepção auditiva e cognitiva (66).

Por outro lado, foi observada uma ação significativa na área cerebelar na sessão pós-tDCS na ordem real/"sham" na primeira semana. Novamente, os resultados indicam a ação da tDCS dentro da mesma sessão experimental. Nesse aspecto Zendel & Alain (2012), argumentam que, embora os efeitos de uma única sessão de tDCS não sejam confiáveis para adultos saudáveis, é possível que os efeitos sejam positivos para crianças ou idosos (80).

De acordo com Paquette et al. o cerebelo é particularmente crítico para a percepção da duração absoluta de intervalos de tempo. Considerando que o BFIT é um teste que requerer o processamento do tempo absoluto em vez do tempo relativo e com maior nível de dificuldade que o BIT, a ação cerebelar se justifica, nesse caso (162). Entretanto, apesar de os dois testes estarem associados à batida absoluta (BIT e BFIT) e dessa particularidade associada ao cerebelo, as estimulações na área motora (M1) parecem ter sido mais satisfatórias na percepção rítmica.

As comparações entre os testes BIT e BFIT demonstraram que a estimulação na área motora produziu diferenças significativas nos dois grupos experimentais. Embora, no presente estudo, tenhamos encontrado mais efeitos da estimulação cerebelar para os testes de percepção (BIT e BFIT) em comparação com os outros instrumentos aplicados, esperávamos que o cerebelo desempenhasse melhor papel nas tarefas de percepção, considerando que a literatura tem sugerido que sua função esteja diretamente relacionada à percepção do tempo. Além da coordenação da sincronização

sensorio-motora, estudos sugerem que a ativação do cerebelo ocorre em testes de audição de sequências rítmicas. Além disso, o cerebelo atua como dispositivo de geração de previsibilidade, controle temporal e correção de erros online (08) (123).

No teste BFIT, os menores limiares de percepção alcançados entre os participantes músicos com estimulação na área motora na primeira semana pré- tDCS e na segunda semana pré-tDCS (Figura 33B) também corroboram os efeitos positivos não apenas da tDCS, mas do treinamento musical na percepção do ritmo. O fator treinamento antes do teste também foi considerado relevante tanto no teste BIT quanto no BFIT entre os participantes com treinamento musical, uma vez que houve correlação positiva entre os dias de treino anteriores ao teste e os resultados obtidos. Isso infere que quanto mais próximo da realização do teste foi o treinamento instrumental, melhor foi o desempenho no teste de percepção. Esses resultados não foram verificados na pesquisa de Fujii & Schlaug (2013) com os testes de percepção do H-BAT. A pesquisa em questão encontrou correlação significativa entre o treinamento musical e o desempenho apenas em relação ao teste MTT e ao teste BIT de produção, mas não no teste BIT de percepção (106).

Em contrapartida, a pesquisa de Matthews et al. (2016), que comparou habilidades de percepção e produção rítmica entre músicos de diferentes modalidades, tais como bateristas, pianistas, cantores, instrumentistas de corda e não músicos, apresenta argumentos favoráveis no que se refere à importância do treinamento musical para a percepção rítmica. No referido estudo, ambos os grupos (músicos e não músicos) participaram de uma bateria de testes baseados em ritmo e batida que avaliaram os efeitos do treinamento musical no processamento do ritmo. As análises revelaram que, em virtude do treinamento musical, os músicos tiveram um desempenho superior aos não músicos na maioria das tarefas. Entre os diferentes instrumentistas músicos não foram observadas diferenças na percepção das batidas. Nesse sentido, os resultados sugeriram que a experiência musical geral é fator determinante para a percepção e produção do ritmo, independentemente da experiência musical específica do instrumento (175).

As correlações entre BIT e BFIT evidenciam que entre os participantes com treinamento musical, a idade foi um fator interferente observado tanto na pré como na pós-tDCS. No teste BIT, quanto maior a idade, menor o

desempenho nas tarefas perceptivas. Desse modo, essa correlação encontrada pode estar relacionada ao próprio declínio cognitivo relacionado à idade, que, além de afetar negativamente a coordenação motora, prejudica o processamento do tempo e o controle atencional (76). Além disso, estudos psicofísicos e neurais da percepção do tempo sugerem que o tempo não é fixo, mas sim uma consequência dos processos cerebrais, mediados por vários fatores que envolve a atenção (176). Sabe-se que tais processos sofrem declínio com o envelhecimento típico do sistema nervoso, o que pode explicar esse resultado.

Enfim, nos testes de percepção BIT e BFIT foram verificados mais efeitos significativos da tDCS com estimulação na área cerebelar, principalmente para participantes sem treinamento musical, em comparação com o teste de produção (MTT). Ainda assim, a estimulação na área motora apresentou resultados mais satisfatórios advindos da neuromodulação.

A comparação entre participantes com e sem treinamento musical revelou que participantes sem treinamento musical apresentaram diferenças no BIT pré-tDCS com um maior tempo de resposta na primeira semana. Da mesma forma, no teste BFIT pós-tDCS, os participantes com treinamento musical apresentaram um tempo de resposta maior na primeira semana experimental, pré e pós tDCS. Esses resultados sugerem um possível efeito da tDCS entre os dois grupos, entretanto, deve-se considerar que, para parte da amostra ("sham"/real) esse efeito pode não ter sido decorrente da tDCS, uma vez que a ordem das estimulações (real/"sham" ou "sham"/real) não foi a mesma para todos os participantes. Assim, o provável efeito positivo ocorreu para os participantes sem treinamento musical, na mesma sessão, para os que receberam a estimulação na ordem real/"sham" no teste BIT na primeira semana. Para os participantes com treinamento musical, os resultados sugerem um efeito positivo da tDCS na redução do tempo de resposta na segunda semana, em decorrência da estimulação real na semana anterior.

Em relação à investigação referente à aprendizagem de uma tarefa motora, as análises do teste SEQTAP apresentaram resultados relevantes para o estudo, em consonância com suas respectivas hipóteses. Considerando que o teste mensura o tempo de reação (TR) e o número de acertos verificados, este teste mede a precisão versus a acurácia, sendo a precisão verificada em

termos do tempo/velocidade de digitação e a acurácia verificada por meio do número de acertos ou erros.

Para os participantes com treinamento musical, no que se refere à ordem de estimulação (real/"sham" ou "sham"/real), observou-se que as diferenças significativas encontradas nos TR e nos acertos podem estar relacionadas à ação da tDCS, tendo em vista que os menores TR ocorreram na pós-tDCS (estimulação real) nas duas semanas experimentais (Figura 34A).

Outro desfecho relevante a se considerar em relação aos participantes com treinamento musical é o fato de que tanto a estimulação na área motora quanto na área cerebelar favoreceram um TR menor na estimulação pós-tDCS (Figura 36). Tal fato sugere que as duas áreas estimuladas desempenham papel preponderante na redução do TR da tarefa de digitação motora. Diversamente dos indivíduos com treinamento musical, apenas a estimulação na área motora (M1) apresentou diferenças significativas no desempenho dos participantes sem treinamento musical no tocante aos tempos de reação (Figura 36).

De maneira diversa, estudo que avaliou o desempenho e a retenção de habilidades motoras por meio da tarefa de digitação (*finger tapping*) com indivíduos jovens sem treinamento musical, mostrou que a estimulação catódica cerebelar (2 mA) por dois dias não surtiu efeito. Os resultados do estudo mostraram que a tDCS aumentou o tempo de aprendizagem, além de dificultar a retenção da habilidade motora (181).

Os resultados aqui encontrados convergem para a constatação de Hashemirad et al. (2016), em sua metanálise sobre o efeito da tDCS na aprendizagem de sequências motoras em sessões únicas e múltiplas, cujos resultados revelaram uma melhora significativa na medida de habilidades advindas de sessões de tDCS anódica sobre a área motora (M1) em tarefas que envolveram, dentre outros, o teste SEQTAP (142).

No mesmo sentido, o estudo de Ehsani et. al., (2016), comparou o efeito da tDCS sobre o córtex motor primário (M1) e sobre a área cerebelar na aprendizagem motora *online*. O estudo concluiu que a tDCS produziu, nas duas regiões, mais aprendizado *offline* de longo prazo quando comparadas a uma estimulação falsa. A redução do tempo de resposta *offline*, porém, foi maior na tDCS aplicada sobre a área M1. Os resultados indicaram que a tDCS anódica cerebelar melhorou a aprendizagem motora online, enquanto a-tDCS de M1 foi

mais eficaz na indução da aprendizagem motora *offline* de curto prazo. Além disso, verificou-se que a estimulação em ambas as áreas produziu resultados significativos no aprendizado motor *offline* (177).

Outro resultado que vai ao encontro da literatura pesquisada e merece destaque é a possível existência de uma correlação positiva entre a idade de início de treinamento e a média do TR. Esse desfecho indicou que quanto menor foi a idade de início do treinamento musical, menor foi a média no TR e conseqüentemente, o desempenho rítmico do indivíduo. Nesse sentido, o estudo de Matthew et al. (2016), que investigou a percepção e produção rítmica entre músicos e não músicos afirma que instrumentistas (bateristas) que tiveram idade de início tardia ou tiveram menos anos de formação, apresentaram maiores variações no desempenho rítmico comparados aos outros grupos de músicos (175).

Contrariamente ao que se observou nos participantes com treinamento musical, participantes sem treinamento apresentaram um menor TR mesmo com a estimulação “sham”/real (Figura 34A). Tal desfecho pode estar relacionado a habilidades pré-existentes dos indivíduos sem treinamento musical. Um fato explica a idéia da não participação da tDCS no desempenho desses indivíduos: na segunda semana (“sham”-real) pós tDCS não se verificou a diminuição, mas um aumento no TR na ordem “sham”/real (Figura 34B).

Por outro lado, a diferença observada na segunda semana na ordem real/”sham”, pré-tDCS pode ter influência da tDCS na semana anterior, apesar de que na semana 1 pós-tDCS não ter sido verificada a diminuição do TR pós-tDCS, na mesma sessão experimental (Figura 34B).

De acordo com Sanchez-Kun (2018), múltiplas sessões de tDCS anódica são preferíveis a uma única para produzir melhorias nas habilidades motoras, embora sejam observadas melhoras significativas após 24h de aplicação de uma única sessão de tDCS sobre a área M1, por exemplo (19).

Em relação aos acertos, destaca-se que os participantes com treinamento musical com estimulação na área motora (“sham”/real) tiveram um aumento no desempenho pós-tDCS, o que não pode ser atribuído ao efeito da estimulação. A diferença também foi verificada para a estimulação cerebelar na sessão pós-tDCS, na segunda semana (Figura 37).

No que concerne aos acertos dos participantes sem treinamento musical, a ordem da estimulação não gerou diferenças significativas, da

mesma forma que não foram verificadas diferenças significativas entre as áreas estimuladas em relação aos acertos, o que indica que a estimulação não surtiu efeito.

O fato de terem sido encontrados maiores efeitos significativos entre os participantes com treinamento musical no teste SEQTAP diverge dos resultados apresentados no estudo de Sanchez-Kuhn et al (2018), que encontrou efeito da tDCS apenas em não-músicos (19).

De maneira sumária, os achados relacionados ao teste SEQTAP demonstram que a tDCS produziu efeito importante sobre a tarefa de aprendizagem motora. Tais efeitos foram verificados principalmente entre indivíduos com treinamento musical. Os resultados sugerem que o desempenho em tarefas motoras requer a importante participação da área motora (M1) e do cerebelo.

Os resultados das comparações entre o desempenho dos participantes com e sem treinamento musical no teste SEQTAP revelaram diferenças significativas no TR nas duas semanas experimentais. Os participantes com treinamento musical apresentaram maior TR na pré- tDCS na primeira sessão experimental e na pós estimulação da segunda semana. Além disso, apresentaram maior número de acertos na pós- tDCS. Esses resultados sugerem que a tDCS produziu efeito positivo sobre o desempenho motor dos participantes com treinamento musical que receberam estimulação nas duas ordens (real/"sham" e "sham"/real). Por outro lado, os participantes sem treinamento musical apresentaram diferenças pré e pós-tDCS apenas na primeira semana. Esse resultado reforça a análise inicial de que os participantes com treinamento musical apresentaram mais benefícios advindos da estimulação por tDCS.

As análises realizadas revelaram que na maior parte dos testes realizados, observaram-se correlações relacionadas à idade. Ou seja, quanto maior a idade, menor foi o desempenho nas atividades rítmicas no desempenho de participantes com e sem treinamento musical. Assim, conforme esperávamos depreende-se que a idade é um elemento que interfere tanto na aquisição quanto na retenção das habilidades motoras. Conforme demonstrado por estudo de Bootsm et al (2021), idosos apresentam maior deterioração do desempenho motor quando comparados aos jovens,

principalmente no que se refere à retenção dessas habilidades, o que está em consonância com o resultado obtido (75).

Ademais, Ragot (2002) esclarece que as variáveis biológicas e cognitivas afetam o julgamento da duração. Assim, as deficiências em eventos e ações temporais verificadas nos idosos provavelmente ocorrem devido a alterações relacionadas à idade em um marcapasso interno e em recursos atencionais, especialmente aqueles que envolvem atenção ao tempo. (24).

Neste estudo, para todos os testes apresentados, foram constatados efeitos da tDCS principalmente na mesma sessão experimental. Entretanto também foram verificados prováveis efeitos entre a primeira e a segunda semana, tal como se observou, por exemplo, no estudo de Sanchez-Kun (2018), que aplicou a tDCS“sham” ou real por três dias consecutivos durante 20 minutos e oito dias após. Esse provável efeito foi verificado, por exemplo, no índice Slarv, do MTT.

Observou-se, em todos os testes que apresentaram diferenças significativas, que a estimulação na área motora (M1) mostrou mais resultados satisfatórios. Considerando que ritmos musicais são padrões complexos e hierárquicos de eventos auditivos que induzem a previsão de tempo e envolvem redes motoras no cérebro, talvez em virtude desse fato tenham sido verificadas diferenças mais significativas do efeito da tDCS sobre a área motora (M1) (176).

Por outro lado, pesquisas recentes, como as de Mamlins et al. (2019) e Jongkees et. al (2019), têm mostrado que os resultados relativos aos efeitos da estimulação cerebelar nem sempre se mostram satisfatórios em relação ao desempenho motor. O estudo de Mamlins et al. (2019), por exemplo, não encontrou efeito da estimulação cerebelar anódica em indivíduos saudáveis. Os autores investigaram se a tDCS cerebelar melhoraria o aprendizado motor no campo de força e tarefas visomotoras utilizando sessenta indivíduos em uma tarefa de adaptaçãovisuomotora em grupos que receberam tDCS anódica, catódica ou cerebelar simulada. Contudo, a estimulação cerebelar não produziu efeitos significativos nas tarefas utilizadas (179).

No mesmo sentido, o estudo de Jongkees et al. (2019), investigou a possível interferência da tDCS em processos de seleção de resposta e no aprendizado de sequência motora. Setenta e dois participantes receberam estimulação cerebelar anódica, catódica e simulada ao realizarem uma tarefa

de tempo de reação. Os resultados revelaram que a tDCS não afetou o aprendizado específico da sequência, mas as estimulações anódicas e simuladas modularam os processos de seleção de resposta. Assim, o grupo que anteriormente recebeu ETCC anódica voltou a apresentar latências de resposta aumentadas, após 24 horas. Essa interferência sugeriu um efeito prejudicial da tDCS anódica cerebelar na retenção das sequências e indicou que o cerebelo pode exercer um efeito inibitório em áreas corticais motoras (180).

## 8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em síntese, embora duas hipóteses do estudo tenham sido confirmadas pelos resultados obtidos, este estudo apresenta algumas limitações. Apesar dos resultados satisfatórios obtidos, o tamanho amostral foi limitado, em virtude da pandemia de Covid-19. Além disso, outro aspecto a ser mencionado é o fato de que os participantes com treinamento musical apresentaram tempo de treinamento e formação musical diversificada. Estudos que utilizem amostras mais homogêneas, possivelmente poderão indicar resultados mais robustos.

Ao se considerar que quanto maior a exposição dos voluntários à neuromodulação, maior a probabilidade de robustez dos resultados, novos estudos, com tamanhos de amostra maiores e várias sessões de técnicas de estimulação por meio de tDCS, ao invés de apenas uma, poderiam ajudar a esclarecer ainda mais o papel da área motora M1 e do cerebelo em vários domínios de função cognitiva, motora e rítmico-musical em indivíduos idosos.

Outro fator a se considerar em novos estudos é o acompanhamento dos participantes a medio e longo prazo para verificação dos resultados da tDCS. Nesse sentido, futuros estudos com perfil longitudinal representariam um formato importante para incrementar dados referentes aos efeitos da estimulação por tDCS nas áreas motora (M1) e cerebelo sobre a percepção e a produção rítmico-musical de indivíduos idosos.

## 9. CONCLUSÃO

O presente estudo teve como objetivo investigar os benefícios cognitivos e sensoriomotores da tDCS para idosos com e sem treinamento musical. Hipotetizou-se que a tDCS anódica sobre as áreas cerebelar e motora (M1) seria capaz de melhorar a excitabilidade neuronal e aprimorar o desempenho rítmico-musical de indivíduos idosos com treinamento musical. A segunda hipótese traçada foi a de que os idosos com treinamento musical apresentassem desempenho rítmico, sensório-motor e de percepção superiores aos participantes sem treinamento musical. A última hipótese era a de que o desempenho dos participantes sem treinamento musical também fosse melhorado após a aplicação da neuromodulação.

As análises realizadas revelaram que a segunda hipótese foi confirmada para os testes SEQTAP, BIT e BFIT, onde foram observados melhor desempenho para os indivíduos com treinamento musical. O mesmo ocorreu para as medidas PALFAMS e PALTEA, da bateria CANTAB, tendo sido verificado provável desempenho superior dos participantes com treinamento musical em comparação com os participantes sem treinamento musical. Os demais testes os efeitos da neuromodulação foram verificados de maneira aparentemente equilibrada entre os grupos experimentais. Adicionalmente, este estudo pretendeu responder se a neuromodulação induzida por tDCS seria capaz de melhorar/otimizar a percepção e a produção rítmico-musical de indivíduos idosos com treinamento musical. Os resultados obtidos sugerem que a resposta a essa pergunta é afirmativa.

A análise dos dados revelou que, em relação ao primeiro objetivo proposto, que as funções executivas revelaram homogeneidade entre os grupos de participantes com e sem treinamento musical. Constatou-se um leve comprometimento cognitivo na maior parte da amostra. Não foram verificados possíveis benefícios da tDCS em relação aos testes cognitivos. As diferenças significativas encontradas não produziram efeito ou provocaram desempenho negativo nos participantes sem treinamento musical, com estimulação na área cerebelar. Não foram observados efeitos da tDCS nos indivíduos com treinamento musical, porém, os resultados das medidas PALFAMS e PALTEA,

do CANTAB mostraram um desempenho superior de participantes com treinamento musical. Não se verificou interferência relacionada à área motora.

Em termos do segundo objetivo, os resultados sugerem que a tDCS produziu efeito significativo nos índices de consistência e acurácia da sincronização verificados a partir do teste MTT. Para todos os índices ( $SI_{ARV}$ ,  $SI_{LRV}$  e  $SI_{ENT}$ ) foram verificados maiores efeitos advindos da estimulação na área motora, tanto para os participantes com treinamento musical quanto para os sem treinamento. A estimulação na área cerebelar, aparentemente não produziu efeito significativo. Os resultados sugerem a ação da tDCS tanto na consistência da batida, quanto na sincronização. Para os indivíduos com treinamento musical, quanto maior o tempo de treinamento, maior foi a consistência da sincronização ( $SI_{ENT}$ ).

No que se refere ao terceiro objetivo proposto, foram verificados, por meio das análises dos testes BIT e BFIT, prováveis efeitos da estimulação por tDCS nas duas áreas estimuladas, sendo que os efeitos decorrentes da estimulação cerebelar se concentraram principalmente entre os participantes sem treinamento musical, ao contrário do teste de produção (MTT), que provavelmente não foi afetado pela estimulação na área cerebelar. Contudo, em comparação com à estimulação no cerebelo, a estimulação na área motora apresentou resultados mais satisfatórios advindos da neuromodulação, principalmente nos participantes com treinamento musical.

No que concerne ao último objetivo proposto, os achados relacionados ao teste SEQTAP sugerem a existência de indicadores promissores resultantes do impacto da aplicação da tDCS nas áreas motora e cerebelar sobre as atividades motoras. Tais resultados sugerem que os efeitos da neuromodulação por tDCS foram capazes de otimizar a percepção e execução rítmico-instrumental em indivíduos idosos com treinamento musical. Os efeitos foram verificados principalmente entre indivíduos com treinamento musical. Conclui-se, portanto, que tanto a área motora (M1) quanto o cerebelo são capazes de desempenhar papel importante em tarefas motoras de sincronização em indivíduos idosos.

O presente estudo apresenta relevância científica por se tratar de um estudo original que relaciona os efeitos da tDCS na percepção e produção musical em sujeitos idosos. Os resultados aqui encontrados contribuem para a literatura científica, dada à escassez de estudos que envolvem a tDCS e a

sincronização rítmico-musical investigada no público idoso. Este estudo apresenta ainda uma contribuição social para os participantes, ao sugerir que, apesar de limitações de ordem fisiológica e cognitiva decorrentes da idade, a possibilidade do engajamento em atividades de cunho musical pode contribuir para retardar o envelhecimento cognitivo e promover a sua saúde.

As informações aqui contidas podem ainda representar relevância significativa para a prática diária de profissionais da área da música que atuam com estudantes idosos, bem como para idosos que fazem da prática musical uma realidade em suas vidas.

## 10. REFERÊNCIAS

1. Rodrigues, ED. Cada passo é uma vitória: saberes que norteiam a formação e atuação de professores de música com alunos idosos. Brasília. Dissertação [Mestrado em Música] – Universidade de Brasília; 2009. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/4130>
2. Rodrigues, ED. A formação do professor de música e sua atuação com alunos idosos: que saberes são necessários? Revista da Abem, v. 21, n. 31, 2013. Disponível em: <http://www.abemeducacaomusical.com.br/revistas/revistaabem/index.php/revistaabem/article/view/76>
3. Rodrigues EDR; Feitosa, JEM; Tavares, MCH. (2019). Tavares, MCH. Respostas emocionais ao ritmo musical. In: Anais do 14 SIMCAM, Campo Grande, Brasil. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; 2019. p. 430-438. Disponível em [https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM\\_14\\_2019\\_http\\_https\\_\\_abcoemus\\_org\\_download\\_simcam\\_14\\_anais](https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM_14_2019_http_https__abcoemus_org_download_simcam_14_anais)
4. Feitosa, JEM; Tavares, MCH. Expectativas musicais relacionadas à harmonia como gatilho para emoções. In: Anais do 14 SIMCAM, Campo Grande, Brasil. Campo Grande: Universidade Federal do Mato Grosso do Sul; 2019. p. 430-438. Disponível em: [https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM\\_14\\_2019\\_http\\_https\\_\\_abcoemus\\_org\\_download\\_simcam\\_14\\_anais](https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM_14_2019_http_https__abcoemus_org_download_simcam_14_anais)
5. Nozaradan S. Exploring how musical rhythm entrains brain activity with electroencephalogram frequency-tagging. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences [Internet]. 19 dez 2014 [citado 24 jul 2021];369(1658):20130393. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rstb.2013.0393>

6. Särkämö T, Sihvonen AJ. Golden oldies and silver brains: Deficits, preservation, learning, and rehabilitation effects of music in ageing-related neurological disorders. *Cortex* [Internet]. 2018 Dez [citado 25 jul 2021];109:104-23. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.08.034>
7. Nunes-Silva M, Tavares, MCH, Vanzella, P. Efeitos cognitivos do treinamento musical. In: *Treinamento Cognitivo: da teoria à prática*: Marcela Mansur Alves & Júlia Lopes-Silva; 2019.
8. Braun T, Rebouças, JTS; Ranvaud, R. O ritmo e a sua relação com som: a influência do contexto sensorial na precisão da percepção e produção de ritmo. 2009. In: *Opus*. Vol. 15, 2009, n. 2, p. 8-31. Disponível em: <http://www.anppom.com.br/revista/index.php/opus/article/view/251/231>
9. Thaut M, Trimarchi P, Parsons L. Human Brain Basis of Musical Rhythm Perception: Common and Distinct Neural Substrates for Meter, Tempo, and Pattern. *BrainSciences* [Internet]. 17 jun 2014 [citado 25 jul 2021];4 (2):428-52. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/brainsci4020428>
10. Levitin DJ. The Neural Correlates of Temporal Structure in Music. *Music and Medicine* [Internet]. 1 jul 2009 [citado 25 jul 2021];1(1):9-13. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1943862109338604>
11. Hannon EE, Schachner A, Nave-Blodgett JE. Babies know bad dancing when they see it: Older but not younger infants discriminate between synchronous and asynchronous audiovisual musical displays. *Journal of Experimental Child Psychology* [Internet]. 2017 Jul [citado 25 jul 2021]; 159:159-74. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2017.01.006>
12. Collins A. Research Gate [Internet]. (PDF) Neuroscience and music research: What's out there and what's useful to music educators?; 1 jan 2011 [citado 25 jul 2021]. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/261634822\\_Neuroscience\\_and\\_music\\_research\\_What's\\_out\\_there\\_and\\_what's\\_useful\\_to\\_music\\_educators](https://www.researchgate.net/publication/261634822_Neuroscience_and_music_research_What's_out_there_and_what's_useful_to_music_educators)

13. Cameron, D, Grahn, J. Neuroscientific investigations of musical rhythm. 2016. In: The Oxford handbook of music psychology. Hallan, Susan; CROSS, Ian; Thaut, Michael. p. 357-368. Oxford: Oxford University Press, 2 edição.
14. Grahn JA. Neural Mechanisms of Rhythm Perception: Current Findings and Future Perspectives. Topics in Cognitive Science [Internet]. 18 jul 2012 [citado 25 jul 2021]; 4(4):585-606. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1756-8765.2012.01213.x>
15. Janzen TB, Thompson WF, Ranvaud R. A developmental study of the effect of music training on timed movements. Frontiers in Human Neuroscience [Internet]. 10 out 2014 [citado 14 jul 2022]; 8. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00801>
16. James CE, Altenmüller E, Kliegel M, Krüger TH, Van De Ville D, Worschech F, Abdili L, Scholz DS, Jünemann K, Hering A, Grouiller F, Sinke C, Marie D. Train the brain with music (TBM): brain plasticity and cognitive benefits induced by musical training in elderly people in Germany and Switzerland, a study protocol for an RCT comparing musical instrumental practice to sensitization to music. BMC Geriatrics [Internet]. 21 out 2020 [citado 25 jul 2021];20(1). Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12877-020-01761-y>
17. Lewis PA, Wing AM, Pope PA, Praamstra P, Miall RC. Brain activity correlates differentially with increasing temporal complexity of rhythms during initialisation, synchronisation, and continuation phases of paced finger tapping. Neuropsychologia [Internet]. 2004 Jan [citado 25 jul 2021]; 42(10):1301-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2004.03.001>
18. Ammann C, Spampinato D, Márquez-Ruiz J. Modulating Motor Learning through Transcranial Direct-Current Stimulation: An Integrative View. Frontiers in Psychology [Internet]. 23 dez 2016 [citado 25 jul 2021]; 7. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01981>

19. Sánchez-Kuhn A, Pérez-Fernández C, Moreno M, Flores P, Sánchez-Santed F. Differential Effects of Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Depending on Previous Musical Training. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 10 set 2018 [citado 25 jul 2021]; 9. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01465>

20. Nitsche MA, Cohen LG, Wassermann EM, Priori A, Lang N, Antal A, Paulus W, Hummel F, Boggio PS, Fregni F, Pascual-Leone A. Transcranial direct current stimulation: State of the art 2008. *Brain Stimulation* [Internet]. 2008 Jul [citado 25 jul 2021]; 1(3):206-23. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2006.06.004>

21. Ribeiro AM. Contribuições ao estudo dos efeitos da neuromodulação não-invasiva sobre parâmetros neuropsicológicos normais e em distúrbios neuropsiquiátricos [published Version na Internet]. [local desconhecido]: reponame: Repositório Institucional da UnB; 2017 [citado 25 jul 2021]. Disponível em: <http://repositorio.unb.br/handle/10482/24827>

22. Santos, DCA, Bianchi, LRO. Envelhecimento Morfofuncional: diferença entre os gêneros. 2014. *Arquivos do MUDI*, v 18, n 2, p 33-46. Disponível em [http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/viewFile/24657/pdf\\_5](http://www.periodicos.uem.br/ojs/index.php/ArqMudi/article/viewFile/24657/pdf_5)

23. Reuben A, Brickman AM, Muraskin J, Steffener J, Stern Y. Hippocampal Atrophy Relates to Fluid Intelligence Decline in the Elderly. *Journal of the International Neuropsychological Society* [Internet]. 24 nov 2010 [citado 25 jul 2021];17 (01):56-61. Disponível: <https://doi.org/10.1017/s135561771000127x>

24. Ragot R, Ferrandez AM, Pouthas V. Time, music, and aging. *Psychomusicology: A Journal of Research in Music Cognition* [Internet]. 2002 [citado 14 jul 2022]; 18(1-2):28-45. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/h0094053>

25. Miendlarzewska EA, Trost WJ. How musical training affects cognitive development: rhythm, reward and other modulating variables. *Frontiers in*

Neuroscience [Internet]. 2014 [citado 25 jul 2021]; 7. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2013.00279>

26. Hanna-Pladdy B, MacKay A. The relation between instrumental musical activity and cognitive aging. *Neuropsychology* [Internet]. 2011 [citado 25 jul 2021];25(3):378-86. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/a0021895>

27. Bugos JA, Perlstein WM, McCrae CS, Brophy TS, Bedenbaugh PH. Individualized Piano Instruction enhances executive functioning and working memory in older adults. *Aging & Mental Health* [Internet]. 2007 Jul [citado 25 jul 2021]; 11(4):464-71. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13607860601086504>

28. United Nations, Department of Economic and Social Affairs PD. World Population Ageing 2020-Highlights. 2020. Disponível em: [https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa\\_pd-2020\\_world\\_population\\_ageing\\_highlights.pdf](https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/undesa_pd-2020_world_population_ageing_highlights.pdf)

29. Herholz SC, Zatorre RJ. Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron* [Internet]. 2012 Nov [citado 25 jul 2021]; 76(3): 486-502. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.10.011>

30. Román-Caballero R, Arnedo M, Triviño M, Lupiáñez J. Musical practice as an enhancer of cognitive function in healthy aging - A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE* [Internet]. 27 nov 2018 [citado 25 jul 2021]; 13(11): e0207957. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0207957>

31. White-Schwoch T, Carr KW, Anderson S, Strait DL, Kraus N. Older Adults Benefit from Music Training Early in Life: Biological Evidence for Long-Term Training-Driven Plasticity. *Journal of Neuroscience* [Internet]. 6 nov 2013 [citado 25 jul 2021]; 33(45):17667-74. Disponível em: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.2560-13.2013>

32. Wan CY, Schlaug G. Music Making as a Tool for Promoting Brain Plasticity across the Life Span. *The Neuroscientist* [Internet]. 2010 Out [citado 25 jul 2021]; 16(5):566-77. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1073858410377805>
33. Seinfeld S, Figueroa H, Ortiz-Gil J, Sanchez-Vives MV. Effects of music learning and piano practice on cognitive function, mood and quality of life in older adults. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 2013 [citado 25 jul 2021]; 4. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00810>
34. Amer T, Kalender B, Hasher L, Trehub SE, Wong Y. Do Older Professional Musicians Have Cognitive Advantages? *PLoS ONE* [Internet]. 7 ago 2013 [citado 25 jul 2021]; 8(8):e71630. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071630>
35. Sluming V, Barrick T, Howard M, Cezayirli E, Mayes A, Roberts N. Voxel-Based Morphometry Reveals Increased Gray Matter Density in Broca's Area in Male Symphony Orchestra Musicians. *NeuroImage* [Internet]. 2002 Nov [citado 25 jul 2021]; 17(3):1613-22. Disponível em: <https://doi.org/10.1006/nimg.2002.1288>
36. Altenmüller E, Schlaug G. Music, Brain, and Health: Exploring Biological Foundations of Music's Health Effects. In: *Music, Health, and Wellbeing* [Internet]. [local desconhecido]: Oxford University Press; 2012 [citado 25 jul 2021]. p. 13-24. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199586974.003.0002>
37. Iannarilli F, Pesce C, Persichini C, Capranica L. Age-related changes of rhythmic ability in musically trained and untrained individuals. *Sport Sciences for Health* [Internet]. 30 abr 2013 [citado 26 jul 2021]; 9(2):43-50. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11332-013-0144-y>
38. Thompson EC, White-Schwoch T, Tierney A, Kraus N. Beat Synchronization across the Lifespan: Intersection of Development and Musical Experience. *PLOS ONE* [Internet]. 24 jun 2015 [citado 26 jul 2021]; 10(6): e0128839. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0128839>

39. Falcão, DVS; Araújo, LF; Pedroso, JS (Org.). Velhices: temas emergentes nos contextos psicossocial e familiar. Campinas: Alínea; 2016.
40. Zatorre RJ, Chen JL, Penhune VB. When the brain plays music: auditory-motor interactions in music perception and production. *Nature Reviews Neuroscience* [Internet]. 2007 Jul [citado 25 jul 2021];8(7):547-58. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nrn2152>
41. Zamorano AM, Cifre I, Montoya P, Riquelme I, Kleber B. Insula-based networks in professional musicians: Evidence for increased functional connectivity during resting state fMRI. *Human Brain Mapping* [Internet]. 24 jul 2017 [citado 25 jul 2021]; 38(10):4834-49. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/hbm.23682>
42. Jones, MR. Musical times. In: Hallam, Susan; Cross, Ian; Thaut, Michael. Orgs. *The Oxford Handbook Psychology of music* p. 125-140. 2016. Oxford: Oxford University Press, 2 edição.
43. Sportsman, EL. Development of musicianship and executive functioning among participating in a music program. Dissertation [Doctor of Philosophy School Psychology] Michigan State University; 2011.
44. Jaschke AC, Honing H, Scherder EJ. Longitudinal Analysis of Music Education on Executive Functions in Primary School Children. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 28 fev 2018 [citado 25 jul 2021]; 12. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2018.00103>
45. Tavares, MC; Freire, SFC. A música e o cérebro executivo no processo de desenvolvimento infantil. In: *Anais do 14 SIMCAM*; 2019. Disponível em: [https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM\\_14\\_2019\\_http\\_https\\_abcogmus\\_org\\_download\\_simcam\\_14\\_anais](https://www.academia.edu/44386673/SIMCAM_14_2019_http_https_abcogmus_org_download_simcam_14_anais)

46. NCPI. Funções executivas e desenvolvimento na primeira infância: habilidades necessárias para a autonomia; 2016 [citado 25 jul 2021]. Disponível em: <https://ncpi.org.br/publicacoes/funcoes-executivas-infancia/>
47. Diamond A. Executive Functions. Annual Review of Psychology [Internet]. 3 jan 2013 [citado 25 jul 2021]; 64(1):135-68. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
48. Rocha, MC. Funções Executivas: O Que São e Qual Seu Papel na Neurociência Cognitiva? In: Boletim SBNp, São Paulo, SP, v.1, n.5, p. 1-34, setembro/2018. Disponível em: [https://sbnpbrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/02/12-Boletim\\_Set-2018.pdf](https://sbnpbrasil.com.br/wp-content/uploads/2019/02/12-Boletim_Set-2018.pdf)
49. Criscuolo A, Bonetti L, Särkämö T, Kliuchko M, Brattico E. On the Association Between Musical Training, Intelligence and Executive Functions in Adulthood. Frontiers in Psychology [Internet]. 30 jul 2019 [citado 25 jul 2021];10. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01704>
50. Okada, B. M. Musical Training and Executive Functions (Master's Thesis). Digital Repository at the University of Maryland; 2016. URI:<http://hdl.handle.net/1903/18933>
51. Knapp K, Morton JB. Encyclopedia on Early Childhood Development. Executive functions | Brain Development and Executive Functioning.2013. Encyclopedia on Early Childhood Development; [citado 25 jul 2021]. Disponível em: <https://www.child-encyclopedia.com/executive-functions/according-experts/brain-development-and-executive-functioning>
52. Yurgil KA, Velasquez MA, Winston JL, Reichman NB, Colombo PJ. Music Training, Working Memory, and Neural Oscillations: A Review. Front Psychol. 2020 Feb 21;11:266. doi: 10.3389/fpsyg.2020.00266.
53. Grassi M, Meneghetti C, Toffalini E, Borella E. Auditory and cognitive performance in elderly musicians and nonmusicians. PLoS One. 2017 Nov 29; 12(11):e0187881.

54. Parbery-Clark A; Strait DL., Anderson S., Hittner E., Kraus N. Musical experience and the aging auditory system: implications for cognitive abilities and hearing speech in noise. 2011. PLoS One 6:e18082. 10.1371/journal.pone.0018082
55. Biasutti M, Mangiacotti A. Assessing a cognitive music training for older participants: a randomised controlled trial. *Int J Geriatr Psychiatry*. 2018 Feb; 33(2):271-278. doi: 10.1002/gps.4721. 2017.
56. Román-Caballero R, Martín-Arévalo E, Lupiáñez J. Attentional networks functioning and vigilance in expert musicians and non-musicians. *Psychological Research* [Internet]. 30 mar 2020 [citado 14 jul 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00426-020-01323-2>
57. Bugos, JA. The Benefits of Music Instruction on Processing Speed, Verbal Fluency, and Cognitive Control in Aging. *Music Education Research International*, 2010.1-9. Disponível em: <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.1043.9657&rep=rep1&type=pdf>
58. Koshimori Y, Thaut MH. New Perspectives on Music in Rehabilitation of Executive and Attention Functions. *Front Neurosci*. 2019 Nov 19;13:1245. doi: 10.3389/fnins.2019.01245.
59. Bishop NA, Lu T, Yankner BA. Neural mechanisms of ageing and cognitive decline. *Nature* [Internet]. 2010 Mar [citado 25 jul 2021];464(7288):529-35. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature08983>
60. Gembris H. Music-Making as a Lifelong Development and Resource for Health. In: *Music, Health, and Wellbeing* [Internet]. [local desconhecido]: Oxford University Press; 2012 [citado 25 jul 2021]. p. 368-82. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199586974.003.0025>

61. Zanto TP, Hennigan K, Östberg M, Clapp WC, Gazzaley A. Predictive knowledge of stimulus relevance does not influence top-down suppression of irrelevant information in older adults. *Cortex* [Internet]. 2010 Abr [citado 25 jul 2021];46(4):564-74. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2009.08.003>
62. Fiore F, Borella E, Mammarella IC, De Beni R. Age differences in verbal and visuo-spatial working memory updating: Evidence from analysis of serial position curves. *Memory* [Internet]. 2012 Jan [citado 25 jul 2021];20(1):14-27. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/09658211.2011.628320>
63. Von Schnehen A, Hobeika L, Huvent-Grelle D, Samson S. Sensorimotor Synchronization in Healthy Aging and Neurocognitive Disorders. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 17 mar 2022 [citado 14 jul 2022]; 13. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.838511>
64. McIntyre S, Nagi SS, McGlone F, Olausson H. The Effects of Ageing on Tactile Function in Humans. *Neuroscience*. 2021 Jun1; 464:53-58. doi: 10.1016/j.neuroscience.2021.02.015.
65. Papalia, DE; Feldman, RD. *Desenvolvimento Humano*. Porto Alegre: Artes Médicas Sul, 2013. Disponível em: <https://archive.org/details/desenvolvimento-humano/page/581/mode/2up?view=theate>
66. Liang KJ, Carlson ES. Resistance, vulnerability and resilience: A review of the cognitive cerebellum in aging and neurodegenerative diseases. *Neurobiology of Learning and Memory* [Internet]. Abr 2020 [citado 14 jul 2022];170:106981. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2019.01.004>
67. Dickstein DL, Kabaso D, Rocher AB, Luebke JI, Wearne SL, Hof PR. Changes in the structural complexity of the aged brain. *Aging Cell* [Internet]. 2007 Jun [citado 25 jul 2021];6(3):275-84. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1474-9726.2007.00289.x>
68. Allen JS, Bruss J, Brown CK, Damasio H. Normal neuroanatomical variation due to age: The major lobes and a parcellation of the temporal region.

- Neurobiology of Aging [Internet]. 2005 Out [citado 25 jul 2021];26(9):1245-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neurobiolaging.2005.05.023>
69. Brodoehl S, Klingner C, Stieglitz K, Witte OW. Age-related changes in the somatosensory processing of tactile stimulation--an fMRI study. *Behav Brain Res.* 2013 Feb 1;238:259-64. doi: 10.1016/j.bbr.2012.10.038.
70. Silveira MM, Portuguese MW. Desempenho cognitivo e motor manual de idosos. *Psico* [Internet]. 16 out 2018 [citado 14 jul 2022];49(3):249. Disponível em: <https://doi.org/10.15448/1980-8623.2018.3.26916>
71. Yordanova J, Falkenstein M, Kolev V. Aging-related changes in motor response-related theta activity. *Int J Psychophysiol.* 2020 Jul;153:95-106. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2020.03.005.
72. Marini F, Gordon-Murer C, Sera M, Tanha T, Licudo F, Zenzeri J, Hughes CM. Age-related Declines in Sensorimotor Proficiency are Specific to the Tested Motor Skill Component. *IEEE Int Conf Rehabil Robot.* Jun; 2019:654-659. doi: 10.1109/ICORR.2019.8779560. PMID: 31374705; 2019.
73. Vieira AI, Nogueira D, de Azevedo Reis E, da Lapa Rosado M, Vânia Nunes M, Castro-Caldas A. Hand tactile discrimination, social touch and frailty criteria in elderly people: A cross sectional observational study. *Arch Gerontol Geriatr.* 2016 Sep-Oct; 66:73-81. doi: 10.1016/j.archger.2016.04.012.
74. Bowden, JL.; McNulty, PA. The magnitude and rate of reduction in strength, dexterity and sensation in the human hand vary with ageing. *Experimental Gerontology*, 2013 48(8): 756–765.
75. Bootsma, J; Calijow. S. R.; Veldman, M. P.; Maurits, N. M.; Rothwell, J. C.; Hortobágyi. 2021 Neural correlates of motor skill learning are dependent on both age and task difficulty. Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8019720/>

76. Kim SJ, Cho SR, Yoo GE. Age-Related Changes in Bimanual Instrument Playing with Rhythmic Cueing. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 26 set 2017 [citado 14 jul 2022]; 8. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01569>
77. Olszewska AM, Gaca M, Herman AM, Jednoróg K, Marchewka A. How Musical Training Shapes the Adult Brain: Predispositions and Neuroplasticity. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 10 mar 2021 [citado 14 jul 2022];15. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.630829>
78. Schlaug G. Musicians and music making as a model for the study of brain plasticity. *Prog Brain Res.* 2015;217:37-55. doi: 10.1016/bs.pbr.2014.11.020. Epub 2015 Feb 11 Disponível em: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4430083/>
79. Stern Y. What is cognitive reserve? Theory and research application of the reserve concept. *Journal of the International Neuropsychological Society* [Internet]. 2002 Mar [citado 25 jul 2021];8(3):448-60. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/s1355617702813248>
80. Zendel BR, Alain C. Musicians experience less age-related decline in central auditory processing. *Psychology and Aging* [Internet]. 2012 [citado 26 jul 2021]; 27(2):410-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/a0024816>
81. Braz CH, Gonçalves LF, Paiva KM, Haas P, Patatt FS. Implications of musical practice in central auditory processing: a systematic review. *Brazilian Journal of Otorhinolaryngology* [Internet]. Nov 2020 [citado 14 jul 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bjorl.2020.10.007>
82. Alves, Wilson Antunes; Reis, Talita Gallas dos; Boscolo, Cibele Cristina; Donicht, Gabriele. Influência da prática musical em habilidades do processamento auditivo central: uma revisão sistemática. *Distúrbios da Comunicação* [Internet]. 29 jun 2018 [citado 14 jul 2022];30(2):364. Disponível em: <https://doi.org/10.23925/2176-2724.2018v30i2p-364-375>

83. Kotz SA, Ravignani A, Fitch WT. The Evolution of Rhythm Processing. *Trends in Cognitive Sciences* [Internet]. 2018 Out [citado 26 jul 2021];22(10):896-910. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tics.2018.08.002>
84. Gomez P, Danuser B. Relationships between musical structure and psychophysiological measures of emotion. *Emotion* [Internet]. 2007 Maio [citado 26 jul 2021];7(2):377-87. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/1528-3542.7.2.377>
85. Clayton, M, Sager, R, Will, U. In time with the music: The concept of entrainment and its significance for Ethnomusicology. 2004. Disponível em: <http://www.open.ac.uk/Arts/experience/InTimeWithTheMusic.pdf>
86. Lima, LD. Percepção musical e cognição: abordagem de aspectos rítmicos no treinamento auditivo / Letícia Dias de Lima. - São Paulo, 2018 Dissertação [Mestrado em Música] - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Instituto de Artes; 2018. Disponível em: [https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154736/lima\\_ld\\_me\\_ia.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/154736/lima_ld_me_ia.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
87. Patel AD, Iversen JR. The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience* [Internet]. 13 maio 2014 [citado 14 jul 2022]; 8. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnsys.2014.00057>
88. Castilho, J. Na Cadência do Gesto. *Mimus*, Salvador, n. 1, p. (53-62), 2009.
89. Carlos A. Sulpicio, Carlos A.; Bomfim, Cássia Carrascoza; Sulpicio, Eliana C. M. Guglielmetti. Ritmo e Tempo nas artes sob uma ótica holística. *Revista VIS: Revista do Programa de Pós-Graduação em Arte* [Internet]. 15 fev 2019 [citado 14 jul 2022];18(1):78-106. Disponível em: <https://doi.org/10.26512/vis.v18i1.22960>
90. Med, B. *Teoria da Musica*, Brasília, Musimed, 1996.

91. Zendel, BR; Ross, B; Fujioka, T. The Effects of Stimulus Rate and Tapping Rate on Tapping Performance 2011. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 29 (1), 65-78. doi: 10.1525 / mp.2011.29.1.65
92. London, J. *Hearing in Time: Psychological Aspects of Musical Meter*. 2. ed. Oxford. Oxford University Press; 2012.
93. Huron D. *Sweet Anticipation: Music and the Psychology of Expectation*. Cambridge, MA: MIT Press; 2006. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/209436188\\_Sweet\\_Anticipation\\_Music\\_and\\_the\\_Psychology\\_of\\_Expectation](https://www.researchgate.net/publication/209436188_Sweet_Anticipation_Music_and_the_Psychology_of_Expectation).
94. Winkler I, Haden GP, Ladinig O, Sziller I, Honing H. Newborn infants detect the beat in music. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Internet]. 26 jan 2009 [citado 25 jul 2021]; 106(7): 2468-71. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0809035106>
95. Phillips-Silver J, Toiviainen P, Gosselin N, Piché O, Nozaradan S, Palmer C, Peretz I. Born to dance but beat deaf: A new form of congenital amusia. *Neuropsychologia* [Internet]. 2011 Abr [citado 25 jul 2021];49(5):961-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2011.02.002>
96. Silva AL. *Arte do tempo no espaço: som e instalações* [published Version na Internet]. [local desconhecido]: Universidade Federal de Mato Grosso; 2009 [citado 26 jul 2021]. Disponível em: <http://ri.ufmt.br/handle/1/97>
97. Repp BH, Su YH. Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review* [Internet]. 9 fev 2013 [citado 26 jul 2021]; 20(3):403-52. Disponível em: <https://doi.org/10.3758/s13423-012-0371-2>
98. Gámez J, Yc K, Ayala YA, Dotov D, Prado L, Merchant H. Predictive rhythmic tapping to isochronous and tempo changing metronomes in the nonhuman primate. *Annals of the New York Academy of Sciences* [Internet]. 30

abr 2018 [citado 26 jul 2021]; 1423(1):396-414. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/nyas.13671>

99. Tranchant, P, Isabelle P. Faulty mechanisms of time keeping in the beat-based form of congenital amusia 2018. Disponível em: [http://www.peretzlab.ca/site/assets/files/1651/tranchant\\_pauline\\_2018\\_thesis-article\\_3.pdf](http://www.peretzlab.ca/site/assets/files/1651/tranchant_pauline_2018_thesis-article_3.pdf)

100. Witek MA, Clarke EF, Wallentin M, Kringelbach ML, Vuust P. Syncopation, Body-Movement and Pleasure in Groove Music. PLoS ONE [Internet]. 2015 [citado 26 jul 2021]; 9(4):e94446. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0094446>

101. Trost W, Frühholz S, Schön D, Labbé C, Pichon S, Grandjean D, Vuilleumier P. Getting the beat: Entrainment of brain activity by musical rhythm and pleasantness. NeuroImage [Internet]. 2014 Dez [citado 25 jul 2021];103:55-64. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.09.009>

102. Trost W, Vuilleumier P. Rhythmic entrainment as a mechanism for emotion induction by music. In: The Emotional Power of Music [Internet]. [local desconhecido]: Oxford University Press; 2013 [citado 25 jul 2021]. p. 213-25. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199654888.003.0016>

103. Jones MR. Time, our lost dimension: Toward a new theory of perception, attention, and memory. Psychological Review [Internet]. 1976 [citado 25 jul 2021];83(5):323-55. Disponível em: <https://doi.org/10.1037/0033-295x.83.5.323>

104. Sofianidis G, Hatzitaki V, Grouios G, Johannsen L, Wing A. Somatosensory driven interpersonal synchrony during rhythmic sway. Human Movement Science [Internet]. Jun 2012 [citado 14 jul 2022];31(3):553-66. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.07.007>

105. Goebel W, Palmer C. Synchronization of Timing and Motion Among Performing Musicians. Music Perception [Internet]. 1 jun 2009 [citado 14 jul 2022];26(5):427-38. Disponível em: <https://doi.org/10.1525/mp.2009.26.5.427>

106. Fujii S, Schlaug G. The Harvard Beat Assessment Test (H-BAT): a battery for assessing beat perception and production and their dissociation. *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet]. 2013 [citado 25 jul 2021];7. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00771>

107. Nunes-Silva, M Haase, VG. Amusia congenita ou do desenvolvimento. *Aprendizagem na atualidade*. 2010 *Neuropsicologia e desenvolvimento na inclusão*. Orgs. Ribeiro do Valle, Luiza Elena L.; Assumpção Junior, Francisco; Wajnsztein, Rubens; Malloy-Diniz, Leandro Fernandes. Poços de Caldas.

108. Lagrois MÉ, Peretz I. The co-occurrence of pitch and rhythm disorders in congenital amusia. *Cortex* [Internet]. 2019 Abr [citado 26 jul 2021];113:229-38. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.11.036>

109. Iannarilli F, Vannozi G, Minganti C, Capranica L, Pesce C. Rhythmic ability decline in aging individuals: The role of movement task complexity. *Biomedical Human Kinetics* [Internet]. 31 dez 2021 [citado 14 jul 2022];14(1):41-53. Disponível em: <https://doi.org/10.2478/bhk-2022-0006>

110. Zanto TP, Padgaonkar NT, Nourishad A, Gazzaley A. A Tablet-Based Assessment of Rhythmic Ability. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 1 nov 2019 [citado 14 jul 2022];10. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.02471>

111. Mongelli V, Dehaene S, Vinckier F, Peretz I, Bartolomeo P, Cohen L. Music and words in the visual cortex: The impact of musical expertise. *Cortex* [Internet]. 2017 Jan [citado 25 jul 2021];86:260-74. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cortex.2016.05.016>

112. Sato K, Kirino E, Tanaka S. A Voxel-Based Morphometry Study of the Brain of University Students Majoring in Music and Nonmusic Disciplines. *Behavioural Neurology* [Internet]. 2015 [citado 14 jul 2022];2015:1-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2015/274919>

113. Bailey JA, Zatorre RJ, Penhune VB. Early Musical Training Is Linked to Gray Matter Structure in the Ventral Premotor Cortex and Auditory–Motor Rhythm Synchronization Performance. *Journal of Cognitive Neuroscience* [Internet]. 2014 Abr [citado 25 jul 2021];26(4):755-67. Disponível em: [https://doi.org/10.1162/jocn\\_a\\_00527](https://doi.org/10.1162/jocn_a_00527)
114. Rus-Oswald, Oana G.; Benner, Jan; Reinhardt, Julia; Bürki, Céline; Christiner, Markus; Hofmann, Elke; Schneider, Peter; Stippich, Christoph; Kressig, Reto W.; Blatow, Maria. Musicianship-Related Structural and Functional Cortical Features Are Preserved in Elderly Musicians. *Frontiers in Aging Neuroscience* [Internet]. 25 mar 2022 [citado 14 jul 2022]; 14. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2022.807971>
115. Dalla Bella S, Sowiński J. Uncovering Beat Deafness: Detecting Rhythm Disorders with Synchronized Finger Tapping and Perceptual Timing Tasks. *Journal of Visualized Experiments* [Internet]. 16 mar 2015 [citado 26 jul 2021]; (97). Disponível em: <https://doi.org/10.3791/51761>
116. Janzen, TB, Thaut, MH. Cerebral Organization of Music Processing. In: *Oxford Handbook of Music and the Brain* Edited by Michael H. Thaut and Donald A. Hodges. 2018. DOI: 10.1093/oxfordhb/9780198804123.013.6
117. Trehub, S. Infant Musicality. In: *The Oxford Handbook of Music Psychology*, 2015, Second Edition (Forthcoming) Edited by Susan Hallam, Ian Cross, and Michael Thaut.
118. Grahn JA, McAuley JD. Neural bases of individual differences in beat perception. *NeuroImage* [Internet]. 2009 Out [citado 26 jul 2021];47(4):1894-903. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.04.039>
119. Grahn JA, Rowe JB. Feeling the beat: premotor and striatal interactions in musicians and nonmusicians during beat perception. *J Neurosci*. 2009 Jun 10; 29(23):7540-8. doi: 10.1523/JNEUROSCI.2018-08.2009.

120. Krause V, Schnitzler A, Pollok B. Functional network interactions during sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians. *NeuroImage* [Internet]. Ago 2010 [citado 14 jul 2022];52(1):245-51. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.03.081>
121. Burunat I, Tsatsishvili V, Brattico E, Toiviainen P. Coupling of Action-Perception Brain Networks during Musical Pulse Processing: Evidence from Region-of-Interest-Based Independent Component Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet]. 9 maio 2017 [citado 14 jul 2022];11. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00230>
122. Kasdan AV, Burgess AN, Pizzagalli F, Scartozzi A, Chern A, Kotz SA, Wilson SM, Gordon RL. Identifying a brain network for musical rhythm: A functional neuroimaging meta-analysis and systematic review. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [Internet]. Maio 2022 [citado 14 jul 2022];136:104588. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2022.104588>
123. Petter EA, Lusk NA, Hesslow G, Meck WH. Interactive roles of the cerebellum and striatum in sub-second and supra-second timing: Support for an initiation, continuation, adjustment, and termination (ICAT) model of temporal processing. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews* [Internet]. Dez 2016 [citado 14 jul 2022]; 71:739-55. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.10.015>
124. Stagg CJ, Nitsche MA. Physiological Basis of Transcranial Direct Current Stimulation. *The Neuroscientist* [Internet]. 2011 Fev [citado 25 jul 2021]; 17(1): 37-53. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/1073858410386614>
125. Thompson WF. Music, thought, and feeling: Understanding the psychology of music. [Oxford University Press] 2015. 386 p.
126. Miniussi C, Paulus W, Rossini PM. Transcranial brain stimulation. Boca Raton, FL: Taylor & Francis; 2013.p. 56-69

127. Hickey P, Stacy M. Deep Brain Stimulation: A Paradigm Shifting Approach to Treat Parkinson's Disease. *Frontiers in Neuroscience* [Internet]. 28 abr 2016 [citado 26 jul 2021]; (10): 1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnins.2016.00173>

128. Nitsche MA, Boggio PS, Fregni F, Pascual-Leone A. Treatment of depression with transcranial direct current stimulation (tDCS): A Review. *Experimental Neurology* [Internet]. 2009 Set [citado 26 jul 2021];219(1):14-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2009.03.038>

129. Nakamura-Palacios EM, Lopes IB, Souza RA, Klauss J, Batista EK, Conti CL, Moscon JA, de Souza RS. Ventral medial prefrontal cortex (vmPFC) as a target of the dorsolateral prefrontal modulation by transcranial direct current stimulation (tDCS) in drug addiction. *Journal of Neural Transmission* [Internet]. 30 abr 2016 [citado 26 jul 2021];123(10):1179-94. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00702-016-1559-9>

130. Volpato C, Piccione F, Cavinato M, Duzzi D, Schiff S, Foscolo L, Venneri A. Modulation of affective symptoms and resting state activity by brain stimulation in a treatment-resistant case of obsessive-compulsive disorder. *Neurocase* [Internet]. 2013 Ago [citado 26 jul 2021];19(4):360-70. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13554794.2012.667131>

131. Brunelin J, Mondino M, Gassab L, Haesebaert F, Gaha L, Suaud-Chagny MF, Saoud M, Mechri A, Poulet E. Examining Transcranial Direct-Current Stimulation (tDCS) as a Treatment for Hallucinations in Schizophrenia. *American Journal of Psychiatry* [Internet]. 2012 Jul [citado 26 jul 2021]; 169(7):719-24. Disponível em: <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11071091>

132. Palm U, Segmiller FM, Epple AN, Freisleder FJ, Koutsouleris N, Schulte-Körne G, Padberg F. Transcranial direct current stimulation in children and adolescents: a comprehensive review. *Journal of Neural Transmission* [Internet]. 12 maio 2016 [citado 26 jul 2021]; 123(10):1219-34. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00702-016-1572-z>

133. Cerruti, CG. Non-invasive modulation of brain activity: A new bridge for mind-brain-education research; [citado 26 jul 2021]. 2010. Disponível em: [https://www.academia.edu/778151/Non\\_invasive\\_modulation\\_of\\_brain\\_activity\\_A\\_new\\_bridge\\_for\\_mind\\_brain\\_education\\_research](https://www.academia.edu/778151/Non_invasive_modulation_of_brain_activity_A_new_bridge_for_mind_brain_education_research)

134. Wu, H. Electric Fish and the Discovery of Animal Electricity: The Mystery of the Electric Fish Motivated Research into Electricity and Was Instrumental in the Emergence of Electrophysiology. 1984. *American Scientist*, vol. 72, (6) 598–607. Disponível em: [www.jstor.org/stable/27852970](http://www.jstor.org/stable/27852970)

135. Bindman LJ, Lippold OC, Redfearn JW. Long-lasting Changes in the Level of the Electrical Activity of the Cerebral Cortex produced by Polarizing Currents. *Nature* [Internet]. 1962 Nov [citado 26 jul 2021]; 196(4854):584-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/196584a0>

136. Lippold OC, Redfearn JW. Mental Changes Resulting from the Passage of Small Direct Currents Through the Human Brain. *British Journal of Psychiatry* [Internet]. 1964 Nov [citado 26 jul 2021]; 110(469):768-72. Disponível em: <https://doi.org/10.1192/bjp.110.469.768>

137. Priori A. Brain polarization in humans: a reappraisal of an old tool for prolonged non-invasive modulation of brain excitability. *Clinical Neurophysiology* [Internet]. 2003 Abr [citado 26 jul 2021];114(4):589-95. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(02\)00437-6](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(02)00437-6)

138. Nitsche MA, Paulus W. Excitability changes induced in the human motor cortex by weak transcranial direct current stimulation. *The Journal of Physiology* [Internet]. 2000 Set [citado 26 jul 2021]; 527(3):633-9. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.t01-1-00633.x>

139. Fehring DJ, Illipparampil R, Acevedo N, Jaberzadeh S, Fitzgerald PB, Mansouri FA. Interaction of task-related learning and transcranial direct current stimulation of the prefrontal cortex in modulating executive functions. *Neuropsychologia* [Internet]. 2019 Ago [citado 26 jul 2021];131:148-59. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2019.05.011>

140. Gomes MA, Akiba HT, Gomes JS, Trevizol AP, Lacerda AL, Dias ÁM. Transcranial direct current stimulation (tDCS) in elderly with mild cognitive impairment: A pilot study. *Dementia & Neuropsychologia* [Internet]. 2019 Jun [citado 26 jul 2021];13(2):187-95. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn13-020007>
141. Meinzer M, Lindenbergl R, Antonenko D, Flaisch T, Floel A. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Temporarily Reverses Age-Associated Cognitive Decline and Functional Brain Activity Changes. *Journal of Neuroscience* [Internet]. 24 jul 2013 [citado 25 jul 2021];33(30):12470-8. Disponível em: <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5743-12.2013>
142. Hashemirad F, Zoghi M, Fitzgerald PB, Jaberzadeh S. The effect of anodal transcranial direct current stimulation on motor sequence learning in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Brain and Cognition* [Internet]. 2016 Fev [citado 26 jul 2021]; 102:1-12. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2015.11.005spamp>
143. Nomura T, Kirimoto H. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation Over the Supplementary Motor Area Improves Anticipatory Postural Adjustments in Older Adults. *Frontiers in Human Neuroscience* [Internet]. 3 ago 2018 [citado 26 jul 2021]; 12. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnhum.2018.00317>
144. Reis J, Schambra HM, Cohen LG, Buch ER, Fritsch B, Zarahn E, Celnik PA, Krakauer JW. Noninvasive cortical stimulation enhances motor skill acquisition over multiple days through an effect on consolidation. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [Internet]. 21 jan 2009 [citado 26 jul 2021]; 106(5):1590-5. Disponível em: <https://doi.org/10.1073/pnas.0805413106>
145. Wessel MJ, Zimerman M, Timmermann JE, Heise KF, Gerloff C, Hummel FC. Enhancing Consolidation of a New Temporal Motor Skill by Cerebellar Noninvasive Stimulation. *Cerebral Cortex* [Internet]. 20 jan 2015

[citado 26 jul 2021]; 26(4):1660-7. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu335>

146. Schaal NK, Krause V, Lange K, Banissy MJ, Williamson VJ, Pollok B. Pitch Memory in Nonmusicians and Musicians: Revealing Functional Differences Using Transcranial Direct Current Stimulation. *Cerebral Cortex* [Internet]. 25 abr 2014 [citado 26 jul 2021]; 25(9): 2774-82. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/cercor/bhu075>

147. Pollok B, Overhagen CL, Keitel A, Krause V. Transcranial direct current stimulation (tDCS) applied to the left dorsolateral premotor cortex (dPMC) interferes with rhythm reproduction. *Scientific Reports* [Internet]. 14 set 2017 [citado 26 jul 2021]; 7(1). Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11980-w>

148. Furuya S, Nitsche MA, Paulus W, Altenmüller E. Early optimization in finger dexterity of skilled pianists: implication of transcranial stimulation. *BMC Neuroscience* [Internet]. 16 mar 2013 [citado 26 jul 2021];14(1). Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1471-2202-14-35>

149. Anic A, Olsen KN, Thompson WF. Investigating the Role of the Primary Motor Cortex in Musical Creativity: A Transcranial Direct Current Stimulation Study. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 1 out 2018 [citado 26 jul 2021]; 9. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01758>

150. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Censo 2010. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Atenção à Saúde (IBGE, 2010).

151. Büsch D, Hagemann N, Bender N. The dimensionality of the Edinburgh Handedness Inventory: An analysis with models of the item response theory. *Laterality: Asymmetries of Body, Brain and Cognition* [Internet]. 2010 Nov [citado 26 jul 2021]; 15(6):610-28. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13576500903081806>

152. Oldfield RC. The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia* [Internet]. 1971 Mar [citado 26 jul 2021]; 9(1):97-113. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
153. Freitas, S, Simões, MR, Martins, C, Vilar, M, Santana, I. Estudos de adaptação do Montreal cognitive assessment (MOCA) para a população portuguesa. Universidade de Coimbra. 2010. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/avp/v9n3/v9n3a02.pdf>
154. Sarmento AL. Apresentação e aplicabilidade da versão brasileira da MoCA (Montreal Cognitive Assessment) para rastreio de Comprometimento Cognitivo Leve [publishedVersion na Internet]. [local desconhecido]: Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP); 2009 [citado 26 jul 2021]. 82 p. Disponível em: <http://repositorio.unifesp.br/handle/11600/8967>
155. Stroop JR. The Basis of Ligon's Theory. *The American Journal of Psychology* [Internet]. 1935 Jul [citado 26 jul 2021]; 47(3):499. Disponível em: <https://doi.org/10.2307/1416349>
156. Friedman D. The cognitive aging of episodic memory: a view based on the event-related brain potential. *Front BehavNeurosci*. 2013 Aug 26;7:111. doi: 10.3389/fnbeh.2013.00111.
157. Iversen, J. R, Patel, A. D. Surveying beat processing abilities in the general population. 2008. Disponível em: [https://johniversen.org/publications/pubs/Iversen\\_Patel\\_2008\\_ICMPC10\\_BAT\\_paper.pdf](https://johniversen.org/publications/pubs/Iversen_Patel_2008_ICMPC10_BAT_paper.pdf)
158. Espírito Santo, H., & D, F. Calcular e apresentar tamanhos do efeito em trabalhos científicos (1): as limitações do  $p < 0,05$  na análise de diferenças de médias de dois grupos. *Revista Portuguesa de Investigação Comportamental e Social*, 2017; 1(1), 3-16.
159. Cohen, J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd Ed. New York: Routledge; 1988.

160. Sawilowsky, SS New effect size rules of thumb. *Journal of Modern Applied Statistical Methods*; 2009, 8(2), 26.

161. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol.* 2013 Nov 26; 4:863. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00863.

162. Paquette, S.; Fujii, S.; Li, H. C.; Schlaug, G. The cerebellum's contribution to beat interval discrimination. *NeuroImage* [Internet]. Dez 2017 [citado 14 jul 2022]; 163:177-182. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.09.017>

163. Gembris H. Music-Making as a Lifelong Development and Resource for Health. In: *Music, Health, and Wellbeing* [Internet]. [local desconhecido]: Oxford University Press; 2012 [citado 25 jul 2021]. p. 368-82. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199586974.003.0025>

164. Greenwood, Pamela M.; Parasuraman, Raja. Neuronal and Cognitive Plasticity: A Neurocognitive Framework for Ameliorating Cognitive Aging. *Frontiers in Aging Neuroscience* [Internet]. 2010 [citado 14 jul 2022]; 2. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnagi.2010.00150>

165. Oechslin MS, Descloux C, Croquelois A, Chanal J, Van De Ville D, Lazeyras F, James CE. Hippocampal volume predicts fluid intelligence in musically trained people. *Hippocampus.* 2013 Jul; 23(7):552-8. doi: 10.1002/hipo.22120.

166. Abrahan, Diaz Veronika; Shifres, Favio; Justel, Nadia. Cognitive Benefits From a Musical Activity in Older Adults. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 28 mar 2019 [citado 13 jul 2022]; 10. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.00652>

167. Strong, Jessica V.; Mast, Benjamin T. The cognitive functioning of older adult instrumental musicians and non-musicians. *Aging, Neuropsychology, and*

Cognition [Internet]. 8 mar 2018 [citado 13 jul 2022];26(3):367-386. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13825585.2018.1448356>

168. Bashir, Shahid; Bamugaddam, Azzam; Alasheikh, Muath; Alhassan, Tariq; Alhaidar, Saud; Almutairi, Abdulelah Khalaf; Alfaleh, Mohammed; Al-Regaiey, Khalid; Al Zahrani, Sultan S.; Albaiji, Bassam Ali; Abualait, Turki. Anodal Transcranial Direct Current Stimulation (tDCS) Over the Primary Motor Cortex (M1) Enhances Motor Response Inhibition and Visual Recognition Memory. *Medical Science Monitor Basic Research* [Internet]. 17 jan 2022 [citado 13 jul 2022];28. Disponível em: <https://doi.org/10.12659/msmbr.934180>

169. Degé F., Schwarzer G. Music lessons and verbal memory in 10- to 12-year-old children: investigating articulatory rehearsal as mechanism underlying this association. 2017. *Psychomusicology* 27 256–266. 10.1037/pmu0000201

170. Farnad, Leila; Ghasemian-Shirvan, Ensiyeh; Mosayebi-Samani, Mohsen; Kuo, Min-Fang; Nitsche, Michael A. Exploring and optimizing the neuroplastic effects of anodal transcranial direct current stimulation over the primary motor cortex of older humans. *Brain Stimulation* [Internet]. Maio 2021 [citado 14 jul 2022];14(3):622-634. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2021.03.013>

171. Prichard, George; Weiller, Cornelius; Fritsch, Brita; Reis, Janine. Effects of Different Electrical Brain Stimulation Protocols on Subcomponents of Motor Skill Learning. *BrainStimulation* [Internet]. Jul 2014 [citado 13 jul 2022]; 7(4):532-540. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.04.005>

172. Fujii, Shinya; Kudo, Kazutoshi; Ohtsuki, Tatsuyuki; Oda, Shingo. Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer. *Neuroscience Letters* [Internet]. Ago 2009 [citado 13 jul 2022]; 459(2):69-73. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.04.055>

173. Brinkmann, Pia; Rigoulot, Simon; Kadi, Melissa; Schwartze, Michael; Kotz, Sonja A.; Dalla Bella, Simone. About time: Ageing influences neural markers of temporal predictability. *Biological Psychology* [Internet]. Jul 2021

[citado 13 jul 2022]; 163:108135. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2021.108135>

174. Miyata, Kohei; Yamamoto, Tetsuya; Fukunaga, Masaki; Sugawara, Sho; Sadato, Norihiro. Neural correlates with individual differences in temporal prediction during auditory-motor synchronization. *Cerebral Cortex Communications* [Internet]. 7 abr 2022 [citado 13 jul 2022]. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/texcom/tgac014>

175. Matthews, Tomas E.; Thibodeau, Joseph N. L.; Gunther, Brian P.; Penhune, Virginia B. The Impact of Instrument-Specific Musical Training on Rhythm Perception and Production. *Frontiers in Psychology* [Internet]. 3 fev 2016 [citado 13 jul 2022]; 7. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00069>

176. Ross, Jessica M.; Balasubramaniam, Ramesh. Time Perception for Musical Rhythms: Sensorimotor Perspectives on Entrainment, Simulation, and Prediction. *Frontiers in Integrative Neuroscience* [Internet]. 5 jul 2022 [citado 13 jul 2022]; 16. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fnint.2022.916220>

177. Ehsani, F.; Bakhtiary, A. H.; Jaberzadeh, S.; Talimkhani, A.; Hajihassani, A. Differential effects of primary motor cortex and cerebellar transcranial direct current stimulation on motor learning in healthy individuals: A randomized double-blind “sham”-controlled study. *Neuroscience Research* [Internet]. Nov 2016 [citado 14 jul 2022]; 112:10-19. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.neures.2016.06.003>

178. Cellini, Nicola. Memory consolidation in sleep disorders. *Sleep Medicine Reviews* [Internet]. Out 2017 [citado 14 jul 2022]; 35:101-112. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.smr.2016.09.003>

179. Mamlins A, Hulst T, Donchin O, Timmann D, Claassen J. No effects of cerebellar transcranial direct current stimulation on force field and visuomotor reach adaptation in young and healthy subjects. *J Neurophysiol*. 2019 Jun 1; 121(6):2112-2125. doi: 10.1152/jn.00352.2018.

180. Jongkees BJ, Immink MA, Boer OD, Yavari F, Nitsche MA, Colzato LS. The Effect of Cerebellar tDCS on Sequential Motor Response Selection. *Cerebellum*. 2019 Aug; 18(4):738-749. doi: 10.1007/s12311-019-01029-1.

181. Nguemeni C, Stiehl A, Hiew S, Zeller D. No Impact of Cerebellar Anodal Transcranial Direct Current Stimulation at Three Different Timings on Motor Learning in a Sequential Finger-Tapping Task. *Front Hum Neurosci*. 2021 Feb 5;15:631517. doi: 10.3389/fnhum.2021.631517.

## APÊNDICE A – TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Laboratório de Neurociência e Comportamento



### ***Termo de Consentimento Livre e Esclarecido – TCLE (Resolução 466/12)***

Convidamos o(a) Senhor(a) a participar voluntariamente do projeto de pesquisa de doutorado “**Efeitos da tDCS sobre as funções executivas e a execução rítmico-musical em idosos praticantes de música**”, sob a responsabilidade da pesquisadora e doutoranda Eunice Dias da Rocha Rodrigues, orientada pela Profa. Dra. Maria Clotilde Henriques Tavares. O projeto consiste na investigação de aspectos rítmico-musicais e funções executivas. O objetivo desta pesquisa é **investigar a execução rítmico-musical e as funções executivas em idosos praticantes de música submetidos à neuromodulação induzida por tDCS**. O(a) senhor(a) receberá todos os esclarecimentos necessários antes e no decorrer da pesquisa e lhe asseguramos que seu nome não aparecerá, sendo mantido o mais rigoroso sigilo pela omissão total de quaisquer informações que permitam identificá-lo(a).

O (a) Senhor(a) irá participar da pesquisa em duas sessões, o que corresponde a duas visitas ao Laboratório de Neurociência e Comportamento, na Universidade de Brasília (Asa Norte/DF). Na primeira visita o senhor(a) será apresentado(a) ao pesquisador e aos objetivos da pesquisa e após a sua confirmação de participação na pesquisa e a assinatura do presente termo, o(a) senhor(a) será solicitado a responder a um formulário com as suas informações pessoais. O(a) Senhor(a) poderá se recusar a responder a qualquer questão (ou participar de qualquer procedimento) que lhe traga constrangimento, ou desistir de participar da pesquisa, sem a necessidade de qualquer justificativa. Em seguida, o Senhor(a) será submetido(a) a uma série de testes computadorizados para a avaliação de suas funções executivas (tais como habilidades de memória e atenção) e de suas habilidades rítmico-musicais. Após esses testes, o Senhor(a) será submetido(a) à estimulação transcraniana por corrente contínua – tDCS, por 20 minutos. Posteriormente o Senhor(a) realizará novamente os mesmos testes. Na segunda sessão, o Senhor(a) repetirá a mesma sequência de testes e estimulação transcraniana. O tempo total de sua participação será de aproximadamente duas horas (2h), sendo que, após uma hora (1h) o Senhor(a) terá um intervalo de 10 minutos para descanso. Todas essas etapas serão realizadas em duas visitas ao Laboratório de Neurociência e Comportamento, na Universidade de Brasília (Asa Norte/DF).

A pesquisa não realizará procedimentos invasivos, nem a administração de substâncias ou medicamentos, o que reduz a presença de potenciais riscos decorrentes de sua participação. Ainda assim, caso seja detectado algum risco não esperado decorrente da sua participação, o Senhor(a) poderá buscar ser indenizado, obedecendo-se às disposições legais vigentes no Brasil. Se você aceitar participar, estará contribuindo para a pesquisa científica. Além disso, você poderá se inteirar sobre suas habilidades cognitivas e rítmico-musicais.

Sua participação é voluntária, isto é, não há pagamento por sua colaboração, no entanto, o Senhor(a) tem garantia de ressarcimento por quaisquer despesas decorrentes de sua participação na pesquisa. Os resultados da pesquisa serão

divulgados em meios de divulgação científica, mantendo-se o sigilo dos participantes e podendo ser publicados posteriormente em revistas especializadas e periódicos nacionais e internacionais. Os dados e materiais serão utilizados somente para essa pesquisa e ficarão sob a guarda do pesquisador por um período de cinco anos, após isso serão destruídos. Se o(a) Senhor(a) tiver qualquer dúvida em relação à pesquisa, por favor, entre em contato com a pesquisadora responsável, Eunice Dias da Rocha Rodrigues, telefone (61) 981352147 ou e-mail [eunicerr70@gmail.com](mailto:eunicerr70@gmail.com), ou se for o caso, com a professora orientadora do projeto, Dra. Maria Clotilde Henriques Tavares, da Universidade de Brasília, no Laboratório de Neurociência e comportamento pelos telefones (61) 3107-3111, (61) 98105-8979 ou [mchtavares@gmail.com](mailto:mchtavares@gmail.com), no horário de atendimento ao público, disponível inclusive para ligação a cobrar.

Este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Ciências da Saúde (CEP/FS) da Universidade de Brasília. O CEP é composto por profissionais de diferentes áreas cuja função é defender os interesses dos participantes da pesquisa em sua integridade e dignidade e contribuir no desenvolvimento da pesquisa dentro de padrões éticos. As dúvidas com relação à assinatura do TCLE ou os direitos do participante da pesquisa podem ser esclarecidos pelo telefone (61) 3107-1947 ou do e-mail [cepfs@unb.br](mailto:cepfs@unb.br) ou [cepfsunb@gmail.com](mailto:cepfsunb@gmail.com), horário de atendimento de 10:00hs às 12:00hs e de 13:30hs às 15:30hs, de segunda a sexta-feira. O CEP/FS se localiza na Faculdade de Ciências da Saúde, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Universidade de Brasília, Asa Norte. Caso concorde em participar, pedimos que assine este documento, que foi elaborado em duas vias, uma delas ficará com o pesquisador responsável e a outra com o Senhor(a).

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

Participante da pesquisa

---

Eunice Dias da Rocha Rodrigues  
Pesquisadora responsável

## APÊNDICE B – TERMO DE CESSÃO DE USO DE IMAGEM E/ OU VOZ PARA FINS CIENTÍFICOS E ACADÊMICOS



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Laboratório de Neurociência e Comportamento



### TERMO DE CESSÃO DE USO DE IMAGEM E/ OU VOZ PARA FINS CIENTÍFICOS E ACADÊMICOS

**Protocolo de Pesquisa, CAAE (27294719.0.0000.0030), CEP/FS-UnB,  
aprovado em (28/02/2020)**

Por meio deste termo, Eu

participante do estudo “Efeitos da tDCS sobre as funções executivas e a execução rítmico-musical de em idosos praticantes de música”, de forma livre e esclarecida, cede o direito de uso das fotografias, vídeos e/ou voz adquiridos durante ente citada, e autoriza o(s) pesquisador(es), Eunice Dias da Rocha Rodrigues, CPF 657.675.191.53, matrícula 2018/5405, Universidade de Brasília, responsável(is) pelo trabalho Efeitos da tDCS sobre as funções executivas e a percepção e execução rítmico-musical em idosos praticantes de música a: (a) utilizar e veicular as fotografias, vídeos e/ou voz obtidas durante a sua participação no estudo/pesquisa tDCS sobre as funções executivas e a execução rítmico-musical em idosos praticantes de música”, do Graduação em Ciências da Saúde, para fim de obtenção de grau acadêmico (e/ou divulgação científico, limitação de número de inserções e reproduções, desde que essenciais para os objetivos do estudo, garantida a se a confidencialidade e a privacidade das informações), inclusive, mas não ação da face e/ou dos olhos, quando possível; (b) veicular as fotografias, vídeos e/ou voz acima referidas na versão final do trabalho acadêmico, que será obrigatoriamente disponibilizado na página web da biblioteca (repositório) da Universidade de Brasília s fotografias, vídeos e/ou voz na produção de quaisquer materiais acadêmicos, inclusive aulas e apresentações em congressos e eventos científicos, por meio oral (conferências) ou impresso (d) utilizar as fotografias, vídeos e/ou voz para a publicação de artigos científicos em meio impresso e/ou eletrônico para fins de divulgação, sem limitação de número de inserções e reproduções; livremente a montagem das fotografias, realizando cortes e correções de brilho e/ou contraste necessários, sem alterar a sua veracidade, utilizando-as exclusivamente para os fins previstos neste termo e se pela guarda e pela utilização da obra final produzida; (f) no caso da voz, executar livremente a edição e montagem do trecho, realizando cortes e correções necessárias, assim como gravações, sem alterar a sua veracidade, utilizando-as exclusivamente para os fins previstos neste se pela guarda e pela utilização da obra final produzida. O participante declara que está ciente que não haverá pagamento financeiro de qualquer natureza neste ouem qualquer momento pela cessão das fotografias, dos vídeos e/ou da voz, e que está ciente que pode retirar seu consentimento, em qualquer fase da pesquisa, sem penalização alguma, salvo os materiais científicos já publicados. É vedado ao(s) pesquisador(es) utilizar as fotografias, os vídeos e/ou a voz para fins comerciais ou com diversos da pesquisa proposta, sob pena de responsabilização nos termos da legislação brasileira. O(s) pesquisador(es) declaram que o presente estudo/pesquisa será norteado pelos normativos éticos vigentes no Brasil. participante de pesquisa e o(s) pesquisador(es)assinam o presente termo em 2 (duas) vias iguais, devendo permanecer uma em posse do pesquisador responsável e outra com o participante.

Brasília, \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

---

Participante da pesquisa

---

Eunice Dias da Rocha Rodrigues  
Pesquisadora responsável

## APÊNDICE C – FICHA DE INFORMAÇÕES DEMOGRÁFICAS E CLÍNICAS FIDC (ADULTOS)



Universidade de Brasília  
Instituto de Ciências Biológicas  
Laboratório de Neurociência e Comportamento



### Ficha de Informações Demográficas e Clínicas FIDC (Adultos)

Registro #: \_\_\_\_\_ Data da Avaliação \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Nome: \_\_\_\_\_

Telefone: (\_\_\_\_) \_\_\_\_\_ Email: \_\_\_\_\_

1. Data de Nascimento: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_ 2. Idade \_\_\_\_\_

3. Cidade de Nascimento: (1) Brasília/DF. (2) Outra, qual: \_\_\_\_\_

4. Sexo: (0) Feminino (1) Masculino

5. Estado civil: (1) Solteiro

(2) Casado ou em União estável

(3) Separado

(4) Viúvo

6. Número de filhos: \_\_\_\_\_

7. Idade dos filhos: \_\_\_\_\_

8. Com quem reside: (1) Reside só

(2) Família conjugal com filhos

(3) Família conjugal sem filhos

(4) Parentes ou amigos

9. Nível de escolaridade: (1) Fundamental

(2) Médio

(3) Superior em andamento

(4) Superior Completo

(5) Pós-graduação

(6) Outro: \_\_\_\_\_

10. Profissão: \_\_\_\_\_

11. Faz uso de óculos frequentemente: (1) Não: \_\_\_\_\_ (2) Sim: \_\_\_\_\_

12. Você faz uso de medicação – natural ou medicinal - regularmente?

(1) Não: \_\_\_\_ (2) Sim: \_\_\_\_\_ Qual: \_\_\_\_\_

(a) Que finalidade \_\_\_\_\_

(b) Tempo de uso: \_\_\_\_\_

(c) Doses \_\_\_\_\_

(d) Hora no dia atual: \_\_\_\_\_

(e) Por quanto tempo fará o uso? \_\_\_\_\_

13. Possui diagnóstico de alguma doença/enfermidade física ou mental?

(1) Não: \_\_\_\_ (2) Sim: \_\_\_\_ Qual: \_\_\_\_\_

(3) Tempo: \_\_\_\_\_

(4) (+) pessoal: \_\_\_\_\_ (+) familiar: \_\_\_\_\_

(5) Tem acompanhamento profissional? (1) Não: \_\_\_\_ (2) Sim: \_\_\_\_\_

Observações ou comentários complementares: \_\_\_\_\_

---

## APÊNDICE D – INSTRUÇÕES DO TESTE SEQTAP

### A) Sessão Treino

Tela 01: Bem-vindo (a)! Antes de iniciar o teste, vamos realizar um breve treino. Pressione qualquer tecla para continuar.

Tela 02: Você verá o ponto de fixação (+) seguido de um estímulo sonoro. A seguir surgirá uma nova tela com a seguinte sequência numérica: 4-1-3-2-4.

Tela 03: Digite a sequência numérica o mais rápido possível! Use os seguintes dedos da mão ESQUERDA: 4 - indicador, 1- mínimo, 3 médio, 2 - anelar, 4 - indicador.

Tela 04: Você deverá apertar as teclas apenas uma vez a cada nova tentativa! Por favor, responda da forma mais rápida e precisa possível! Pressione qualquer tecla para continuar.

Tela 05: Caso cometa algum erro não se preocupe. Não tente corrigir o erro! Pressione qualquer tecla para continuar.

Tela 06: Alguma dúvida? Vamos iniciar o treino.

Tela final: Você entendeu a tarefa? Agora vamos realizar o teste! Pressione espaço para começar.

### B) Sessão Teste:

Tela 01: Agora vamos iniciar o teste! Você deve seguir as mesmas instruções dadas durante o treinamento. Pressione qualquer tecla para continuar.

Tela 02: Lembre-se de repetir a sequência numérica o mais rápido possível! Caso cometa algum erro, não tente corrigi-lo! Pressione qualquer tecla para continuar.

Tela 03: Use os seguintes dedos da mão esquerda: 4 - indicador, 1 - mínimo, 3 médio, 2 - anelar, 4 - indicador. Pressione qualquer tecla para continuar. Alguma dúvida? Vamos iniciar o teste a seguir! Pressione espaço para iniciar.

Tela final: Muito obrigada por sua participação! Você concluiu o teste.

## APÊNDICE E - CORRELAÇÕES NO TESTE DE STROOP PARA PARTICIPANTES COM E SEM TREINAMENTO MUSICAL

Correlação entre os dados demográficos e o desempenho dos participantes com treinamento musical no teste de STROOP.

	Correlação <sup>a</sup>	Acertos		Erros		Omissões	
		Semana 1	Semana 2	Semana 1	Semana 2	Semana 1	Semana 2
Idade	<i>P</i>	-0,126	-0,264	0,081	-0,275	-0,31	0,446
	<i>p-valor</i>	0,549	0,212	0,701	0,193	0,883	0,029
	<i>N</i>	25	24	25	24	25	24
Escolaridade (anos)	<i>P</i>	0,163	-0,050	0,056	0,036	-0,339	0,234
	<i>p-valor</i>	0,436	0,818	0,789	0,867	0,097	0,271
	<i>N</i>	25	24	25	24	25	24
Idade de início do treinamento musical	<i>P</i>	-0,151	-0,044	0,071	-0,032	-0,002	-0,040
	<i>p-valor</i>	0,472	0,839	0,735	0,881	0,993	0,851
	<i>N</i>	25	24	25	24	25	24

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Legenda:

n, número absoluto – outliers

<sup>a</sup>Correlação de Spearman. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

Correlação entre os dados demográficos e o desempenho dos participantes sem treinamento musical no teste de STROOP.

	Correlação <sup>a</sup>	Acertos		Erros		Omissões	
		Semana 1	Semana 2	Semana 1	Semana 2	Semana 1	Semana 2
Idade	<i>P</i>	-0,269	-0,262	0,255	0,481	0,206	0,140
	<i>p-valor</i>	0,226	0,238	0,252	0,027	0,359	0,536
	<i>N</i>	22	22	22	21	22	22
Escolaridade (anos)	<i>P</i>	0,065	-0,195	-0,108	0,090	0,087	0,211
	<i>p-valor</i>	0,775	0,385	0,632	0,697	0,700	0,346
	<i>N</i>	22	22	22	21	22	22

Fonte: Dados da pesquisa (2022).

Legenda:

n, número absoluto – outliers

## APÊNDICE F– TAREFA DE TRIAGEM MOTORA EM PARTICIPANTES COM E SEM TREINAMENTO MUSICAL

Comparação da latência média (MOTML) e desvio padrão da latência (MOTSDL) na tarefa de triagem motora (MOT) entre participantes com e sem treinamento musical. Os dados são representados por média  $\pm$  desvio padrão, em milissegundos.

	Com treinamento (n=21)		P -valor <sup>a</sup>	Sem treinamento (n=21)		P -valor <sup>a</sup>
	Semana	Semana		Semana 1	Semana 2	
	1	2				
<b>MOTML</b>	992,41 $\pm$ 249,03	967,42 $\pm$ 156,54	n.s.	1083,93 $\pm$ 189,69	1067,30 $\pm$ 191,47	n.s.
<b>MOTSDL</b>	172,81 $\pm$ 102,11	170,63 $\pm$ 92,07	n.s.	202,32 $\pm$ 162,20	205,54 $\pm$ 154,90	n.s.

n, número absoluto – outliers

<sup>a</sup>Teste de Wilcoxon. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

## APÊNDICE G – COMPARAÇÃO DAS MEDIDAS DE DESFECHO DO TESTE PAL EM PARTICIPANTES COM E SEM TREINAMENTO MUSICAL

Comparação das medidas de desfecho do PAL entre participantes com e sem treinamento musical. Os dados são representados por média  $\pm$  desvio padrão.

	Com treinamento (n=23)		P-valor <sup>a</sup>	Sem treinamento (n=21)		P-valor <sup>a</sup>
	Semana 1	Semana 2		Semana 1	Semana 2	
<b>PALTEAS</b>	22,65 $\pm$ 12,26 <sup>b</sup>	21,00 $\pm$ 12,82 <sup>c</sup>	n.s	34,10 $\pm$ 16,46 <sup>b</sup>	29,25 $\pm$ 13,14 <sup>c</sup>	n.s
<b>PALFAMS</b>	9,52 $\pm$ 3,22 <sup>d</sup>	10,52 $\pm$ 3,00 <sup>e</sup>	n.s	7,80 $\pm$ 3,74 <sup>d</sup>	8,30 $\pm$ 3,45 <sup>e</sup>	n.s
<b>PALMET</b>	2,43 $\pm$ 1,34	2,35 $\pm$ 1,27	n.s	1,95 $\pm$ 1,70	2,75 $\pm$ 1,21	n.s

n, número absoluto – outliers

<sup>a</sup>Teste de Wilcoxon. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

<sup>b,c,d,e</sup>Teste de Mann-Whitney. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

## APÊNDICE H – COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO E TEMPO DE RESPOSTA DE PARTICIPANTES COM E SEM TREINAMENTO MUSICAL

Comparação do desempenho e tempo de reação dos participantes (com e sem treinamento musical) no teste SEQTAP entre as semanas experimentais. Os dados são representados por média  $\pm$  desvio padrão.

			Com treinamento		P-valor <sup>a</sup>	Sem treinamento		P-valor <sup>a</sup>
			Pré-tDCS	Pós-tDCS		Pré-tDCS	Pós-tDCS	
<b>TR</b>	Semana 1	<i>Média</i>	34072,60 <sup>b</sup>	29091,40 <sup>c</sup>	< 0,01	28233,96 <sup>b</sup>	39830,62 <sup>c</sup>	< 0,05
		<i>DP</i>	$\pm$ 48296,47	$\pm$ 41285,90		$\pm$ 45540,01	$\pm$ 1736,20	
	Semana 2	<i>Média</i>	30636,98	39237,05	< 0,05	20166,02	42488,29	n.s.
		<i>DP</i>	$\pm$ 40736,57	$\pm$ 936,97		$\pm$ 35837,39	$\pm$ 1126,40	
<b>Acertos</b>	Semana 1	<i>Média</i>	26,91 <sup>d</sup>	28,13 <sup>e</sup>	< 0,05	24,00 <sup>d</sup>	24,38 <sup>e</sup>	n.s.
		<i>DP</i>	$\pm$ 3,32	$\pm$ 1,82		$\pm$ 4,88	$\pm$ 5,18	
	Semana 2	<i>Média</i>	26,96	26,96	n.s.	24,38	25,20	n.s.
		<i>DP</i>	$\pm$ 3,96	$\pm$ 3,30		$\pm$ 5,83	$\pm$ 4,53	

<sup>a</sup>Teste de Wilcoxon. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

<sup>b,c,d,e</sup>Teste de Mann-Whitney. Significância estatística considerada de  $p \leq 0,05$ .

# ANEXO 1 - APROVAÇÃO NO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA COM SERES HUMANOS

UNB - FACULDADE DE  
CIÊNCIAS DA SAÚDE DA  
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA



## PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

### DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

**Título da Pesquisa:** Efeitos da tDCS sobre as funções executivas e a execução rítmico-musical em idosos praticantes de música

**Pesquisador:** EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES

**Área Temática:**

**Versão:** 1

**CAAE:** 27294719.0.0000.0030

**Instituição Proponente:** Instituto de Biologia da Universidade de Brasília

**Patrocinador Principal:** Financiamento Próprio

### DADOS DO PARECER

**Número do Parecer:** 3.890.585

#### **Apresentação do Projeto:**

"Desenho: A pesquisa proposta realizara avaliacao das funcoes executivas, no caso, STROOP, STOP SIGNAL e avaliacao ritmica por meio do teste H-BAT. Os participantes realizarao os testes em duas sessoes, separadas por um periodo de uma semana. Dentro de cada sessao serao realizados um teste pre e pos-tDCS de todos os testes. Os testes serao realizados antes e apos a estimulacao por tDCS, que sera aplicada por 20 minutos em uma regioao especifica do cerebro. Essas regioes consistem no cerebelo e cortex pre-frontal dorsolateral esquerdo, CPFDL. A escolha da regioao a ser estimulada em cada uma das sessoes (cerebelo ou cortex pre-frontal dorsolateral esquerdo, CPFDL) sera realizada de forma alternada e aleatoria entre os participantes. Anteriormente e apos a estimulacao por tDCS, sera aplicado o teste do H-BAT para fins de observacao do desempenho do sujeito em termos de execucao ritmica. O teste sera composto de tres etapas: na primeira etapa sera avaliada a capacidade basica de sincronizacao de maneira tradicional; na segunda etapa sera avaliada a habilidade de sincronizacao com uma batida musical, testando a capacidade do participante de tocar com a batida da musica apresentada, Na terceira etapa A terceira etapa do teste refere-se ao julgamento perceptivo da batida. Os participantes ouvirao cada trecho sem tocar e tentarao decidir se os bipes sobrepostos a musica soam na batida ou nao."

**Conclusões ou Pendências e Lista de Inadequações:**

Não foram encontrados óbices éticos. Protocolo de pesquisa em conformidade com as Resolução CNS 466/2012, 510/2016 e Complementares.

**Considerações Finais a critério do CEP:**

Conforme a Resolução CNS 466/2012, itens X.1.- 3.b. e XI.2.d, os pesquisadores responsáveis devem apresentar relatórios parciais semestrais, contados a partir da data de aprovação do protocolo de pesquisa; e um relatório final do projeto de pesquisa, após a conclusão da pesquisa.

**Este parecer foi elaborado baseado nos documentos abaixo relacionados:**

Tipo Documento	Arquivo	Postagem	Autor	Situação
Declaração de Pesquisadores	TermodeCessaodeusodeimagemsomdevoz.pdf	09/01/2020 11:26:57	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Curriculo_Orientadora_Maria_Clotilde_Henriques_Tavares.pdf	09/01/2020 11:26:43	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Curriculo_pesquisadora_responsavel_Eunice_Dias_da_Rocha_Rodrigues.pdf	09/01/2020 11:25:59	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	cartadeencaminhamento.pdf	09/01/2020 11:25:47	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	Termoderesponsabilidade.pdf	09/01/2020 11:25:38	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	TermodeCessaodeusodeimagemsomdevoz.docx	09/01/2020 11:25:26	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Declaração de Pesquisadores	termodeconcordancia.pdf	09/01/2020 11:25:08	Fabio Viegas Caixeta	Aceito
Informações Básicas do Projeto	PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1488794.pdf	22/12/2019 22:43:22		Aceito
Outros	Termo_de_Concordancia.docx	19/12/2019 21:43:35	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Outros	Cartadeencaminhamento.docx	19/12/2019 21:42:41	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Outros	Termo_de_Responsabilidade_e_Compromisso.docx	19/12/2019 21:37:41	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	projeto_pdf.pdf	19/12/2019 21:35:42	EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES	Aceito
Cronograma	cronogramapdf.pdf	19/12/2019 21:34:16	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Cronograma	Cronograma.docx	19/12/2019 21:33:58	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Orçamento	orcamento.pdf	19/12/2019 21:33:36	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
Orçamento	orcamento.docx	19/12/2019 21:33:18	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_de_Consentimento_Livre_e_Esclarecido.docx	12/12/2019 18:51:29	EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	Termo_de_Consentimento_Livre_e_Esclarecido.pdf	12/12/2019 18:50:32	EUNICE DIAS DA ROCHA RODRIGUES	Aceito
Folha de Rosto	folha_de_rosto.pdf	12/12/2019 17:47:56	EUNICE DIAS DA ROCHA	Aceito

**Situação do Parecer:**

Aprovado

**Necessita Apreciação da CONEP:**

Não

BRASILIA, 28 de Fevereiro de 2020

Assinado por:  
Fabio Viegas Caixeta  
(Coordenador(a))

## ANEXO 2 – INVENTÁRIO DE EDINBURGH



### Edinburgh Handedness Inventory (Versão original: Oldfield, 1971) (Adaptação portuguesa: Espírito Santo et al., 2017)\*

Indique qual das mãos usa preferencialmente na execução das atividades que lhe vão ser apresentadas de seguida.

Para tal, coloque um “+” na coluna que corresponde à **mão que usa preferencialmente** na execução dessas atividades.

Quando **a sua preferência for tão forte** que nunca usa a outra mão, a não ser que seja forçado/a, marque “++”.

Se o uso de uma ou de outra **mão for indiferente**, marque “+” **nas duas colunas**.

Algumas atividades exigem o uso de ambas as mãos. Nesses casos, o objeto para o qual deve considerar o uso preferencial da mão é indicado entre parêntesis.

Por favor responda a todas as questões.

Atividades	Mão	
	Esquerda	Direita
Escrever		
Desenhar		
Atirar/Lançar		
Usar a tesoura		
Segurar a escova de dentes		
Cortar com uma faca		
Usar uma colher		
Varrer (cimo da vassoura)		
Segurar num fósforo para o acender/riscar (fósforo)		
Segurar na tampa para abrir uma caixa (tampa)		

#### Cotação

Contabilizam-se 2 pontos em “++” e 1 ponto em “+”

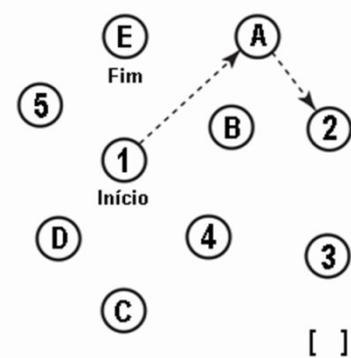
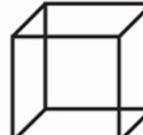
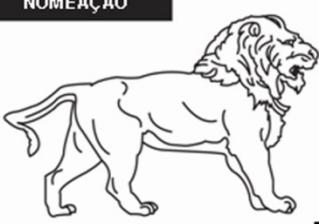
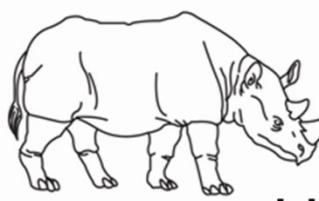
Quociente de lateralidade:  $QL = (D - E / D + E) \times 100$

\***Referência Provisória:** Espírito-Santo, H., Pires, A. C., Queiroz Garcia, I., Daniel, F., Silva, A., & Fazio, R. (2017). Preliminary validation of the Portuguese Edinburgh Handedness Inventory in an adult sample. *Applied Neuropsychology: Adult*, XX(X), XX-XX. doi: XXX

## ANEXO 3 – TESTE MoCA

**MONTREAL COGNITIVE ASSESSMENT (MOCA)**  
Versão Experimental Brasileira

Nome: \_\_\_\_\_ Data de nascimento: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Escolaridade: \_\_\_\_\_ Data de avaliação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_  
Sexo: \_\_\_\_\_ Idade: \_\_\_\_\_

VISUOESPACIAL / EXECUTIVA							Pontos
 <p style="text-align: center;">[ ] [ ]</p>	 <p>Copiar o cubo</p>	Desenhar um RELÓGIO (onze horas e dez minutos) (3 pontos)					_____/5
NOMEAÇÃO							_____3
	 <p>[ ]</p>	 <p>[ ]</p>					_____3
MEMÓRIA	Leia a lista de palavras, o sujeito de repeti-la, faça duas tentativas. Evocar após 5 minutos.	Rosto	Veludo	Igreja	Margarida	Vermelho	Sem Pontuação
	1ª tentativa						
	2ª tentativa						
ATENÇÃO	Leia a seqüência de números (1 número por segundo). O sujeito deve repetir a seqüência em ordem direta [ ] 2 1 8 5 4 O sujeito deve repetir a seqüência em ordem indireta [ ] 7 4 2						_____2
	Leia a série de letras. O sujeito deve bater com a mão (na mesa) cada vez que ouvir a letra "A". Não se atribuem pontos se ≥ 2 erros. [ ] F B A C M N A A J K L B A F A K D E A A A J A M O F A A B						_____1
	Subtração de 7 começando pelo 100 [ ] 93 [ ] 86 [ ] 79 [ ] 72 [ ] 65 4 ou 5 subtrações corretas: 3 pontos; 2 ou 3 corretas 2 pontos; 1 correta 1 ponto; 0 correta 0 ponto						_____3
LINGUAGEM	Repetir: Eu somente sei que é João quem será ajudado hoje. [ ]	O gato sempre se esconde embaixo do Sofá quando o cachorro está na sala. [ ]				_____2	
	Fluência verbal: dizer o maior número possível de palavras que comecem pela letra F (1 minuto). [ ] _____ (N ≥ 11 palavras)					_____1	
ABSTRAÇÃO	Semelhança p. ex. entre banana e laranja = fruta [ ] trem - bicicleta [ ] relógio - régua						_____2
EVOCAÇÃO TARDIA	Deve recordar as palavras SEM PISTAS	Rosto	Veludo	Igreja	Margarida	Vermelho	Pontuação apenas para evocação SEM PISTAS
OPCIONAL	Pista de categoria Pista de múltipla escolha						
ORIENTAÇÃO	[ ] Dia do mês [ ] Mês [ ] Ano [ ] Dia da semana [ ] Lugar [ ] Cidade					_____6	
© Z. Nasreddine MD www.mocatest.org Versão experimental Brasileira: Ana Luisa Rosas Sarmiento Paulo Henrique Ferreira Bertolucci - José Roberto Wajman						TOTAL Adicionar 1 pt se ≤ 12 anos de escolaridade _____30	

(UNIFESP-SP 2007)

## ANEXO 4 - APLICAÇÃO E INSTRUÇÕES PARA O USO DO TESTE MoCA.

### Avaliação Cognitiva Montreal (MoCA)

#### Aplicação e Instruções para Pontuação

A Avaliação Cognitiva Montreal (MoCA) foi desenvolvida como um instrumento breve de rastreio para deficiência cognitiva leve. O mesmo acessa diferentes domínios cognitivos: Atenção e concentração, funções executivas, memória, linguagem, habilidades viso-construtivas, conceituação, cálculo e orientação. O tempo de aplicação do MoCA é de aproximadamente 10 minutos. O escore total é de 30 pontos; sendo o escore de 26 ou mais considerado normal.

#### 1. Alternância de trilha Aplicação:

O examinador instrui o sujeito: *“Por favor, desenhe uma linha indo de um número para uma letra em ordem ascendente. Comece aqui {aponte para (1)} e desenhe uma linha de 1 para A, daí para 2 e assim por diante. Termine aqui {aponte para (E)}.”*

Pontuação: Atribua 1 ponto se o sujeito desenhar satisfatoriamente o seguinte padrão 1- A-2-B-3-C-4-D-5-E, sem desenhar nenhuma linha que ultrapasse o alvo. Qualquer erro que não for imediatamente autocorrigido, recebe 0 de pontuação.

#### 2. Habilidades Viso-Construtivas (Cubo)

Aplicação: O examinador dá as seguintes instruções, apontando para o cubo: *“Copie este desenho o mais precisamente que você puder, no espaço abaixo”*

Pontuação: Um ponto é atribuído para a execução correta do desenho.

- O desenho deve ser tridimensional
- Todas as linhas são desenhadas
- Nenhuma linha é adicionada
- As linhas são relativamente paralelas e seu comprimento é semelhante (prismas retangulares são aceitos).

O ponto não é atribuído se algum dos critérios acima não for atingido.

#### 3. Habilidades Viso-Construtivas (Relógio)

Aplicação: Indique o terceiro espaço à direita e dê as seguintes instruções: *“Desenhe um relógio. Coloque todos os números e marque a hora 11:10”*

Pontuação: Um ponto é atribuído para cada um dos três critérios a seguir:

- Contorno (1 ponto): o mostrador do relógio deve ser um círculo somente com uma mínima distorção aceitável (ex: discreta imperfeição ao fechar o círculo);
- Números (1 ponto): todos os números do relógio devem estar na ordem correta e localizados em quadrantes aproximados no mostrador do relógio;

números romanos são aceitos; os números podem ser colocados do lado de fora do contorno do círculo.

- **Ponteiros (1 ponto):** devem haver 2 ponteiros indicando a hora correta; o ponteiro das horas deve ser claramente menor do que o ponteiro dos minutos; os ponteiros devem estar centralizados no mostrador do relógio com sua junção no centro do relógio. O ponto não é atribuído se algum dos critérios acima não for atingido.

#### **4. Nomeação**

Aplicação: Começando à esquerda, aponte para cada figura e diga: *“Me diga o nome desse animal”*

Pontuação: Cada ponto é dado para as seguintes respostas: (1) camelo ou dromedário, (2) leão, (3) rinoceronte.

#### **5. Memória**

Aplicação: O examinador lê uma lista de palavras no intervalo de uma por segundo dando as seguintes instruções: *“Este é um teste de memória. Eu lerei uma lista de palavras que você deverá lembrar-se agora e mais tarde. Ouça com atenção. Quando eu terminar, me diga todas as palavras que você puder lembrar. Não importa a ordem que você as diga.”* Marque no espaço reservado para cada palavra o desempenho do sujeito na primeira tentativa. Quando o sujeito indicar que terminou (lembrou-se de todas as palavras), ou que não se lembra de mais nenhuma palavra, leia a lista pela segunda vez com as seguintes instruções: *“Eu lerei a mesma lista pela segunda vez. Tente se lembrar e me diga todas as palavras que você puder, incluindo palavras ditas da primeira vez.”* Marque no espaço reservado para cada palavra o desempenho do sujeito na segunda tentativa. Ao final da segunda tentativa, informe o sujeito que lhe será pedido para resgatar essas palavras novamente, dizendo: *“Eu lhe pedirei para resgatar essas palavras novamente no final do teste.”*

Pontuação: Não são dados pontos para as tentativas 1 e 2.

#### **6. Atenção**

##### **Span de dígitos diretos**

Aplicação: Dê as seguintes instruções: *“Eu lhe direi alguns números e quando eu terminar, me repita na ordem exata que eu os disse.”* Leia a sequência de 5 números no intervalo de um dígito por segundo.

##### **Span de dígitos indiretos**

Aplicação: Dê as seguintes instruções: *“Agora eu lhe direi mais alguns números, porém, quando eu terminar você deverá repeti-los para mim na ordem inversa.”* Leia a sequência de 3 números no intervalo de um dígito por segundo. Pontuação: Atribua um ponto para cada sequência repetida corretamente, (N.B.:A resposta correta para a tentativa inversa é 2-4-7).

##### **Vigilância**

Aplicação: O examinador lê as listas de letras no intervalo de uma por segundo, após dar as seguintes instruções: *“Eu lerei uma sequência de letras. Toda a vez que eu disser a letra A, bata a mão uma vez. Se eu disser uma letra diferente, não bata a*

sua mão.” Pontuação: Dê um ponto se houver de zero a um erro (um erro é uma batida na letra errada ou uma falha na batida da letra A).

### **Sete Seriado**

Aplicação: O examinador dá as seguintes instruções: *“Agora eu lhe pedirei para que você subtraia sete a partir de 100, e então siga subtraindo sete da sua resposta até eu lhe disser que pare.”* Dê esta instrução 2 vezes se necessário.

Pontuação: Este item é pontuado com 3 pontos. Não atribua ponto (0) para uma subtração incorreta, 1 ponto para uma subtração correta, 2 pontos para duas a três subtrações corretas e 3 pontos se o participante fizer com sucesso quatro ou cinco subtrações corretas. Conte cada subtração correta de 7, começando de 100. Cada subtração é avaliada independentemente; ou seja, se o participante responde com número incorreto, mas continua a subtrair corretamente 7 daquele número, dê um ponto para cada subtração correta. Por exemplo, o participante pode responder “92-85-78-71- 64” quando o 92 é incorreto, mas todos os números subsequentes são subtraídos corretamente. Este é um erro e o item deve receber a pontuação de 3.

### **7. Replicação de sentença**

Aplicação: O examinador dá as seguintes instruções: *“Eu vou ler uma sentença para você. Repita depois de mim, exatamente como eu disser: Eu somente sei que João é quem será ajudado hoje.”* Após a resposta, diga: *“Agora eu vou ler outra sentença. Repita-a depois de mim, exatamente como eu disser[pausa]: o gato sempre se esconde debaixo do sofá quando o cachorro está na sala.”*

Pontuação: Atribua 1 ponto para cada sentença repetida corretamente. A repetição deve ser exata. Esteja atento para erros que são omissões (omitir “somente”, “sempre”) e substituições/adições (“João é quem ajudou hoje”).

### **8. Fluência Verbal**

Aplicação: O examinador dá a seguinte instrução: *“Diga-me quantas palavras você puder pensar que comecem com uma certa letra do alfabeto que eu lhe direi em um minuto. Você pode dizer qualquer tipo de palavra que quiser, exceto nomes próprios (como Beto ou Bauru), números, ou palavras que começam com os mesmos sons, porém com diferente sufixo, por exemplo, amor, amante, amando. Eu direi para parar após 1 minuto. Você está pronto? [pausa] Agora, me diga quantas palavras você pode pensar que começam com a letra F. [tempo de 60 segundos]. Pare”.*

Pontuação: Atribua 1 ponto se o sujeito gerar 11 palavras ou mais em 60 segundos. Grave a resposta do sujeito no espaço ou ao lado.

### **9. Abstração**

Aplicação: O examinador pede ao sujeito que explique o que cada par de palavras tem em comum, começando com o exemplo: *“Diga-me em que uma laranja e uma banana são parecidas”.* Se o sujeito responde de maneira concreta, então somente diga uma vez adicional: *“Me diga de outra forma em que estes 2 itens são*

*parecidos*". Se o sujeito não der a resposta apropriada (fruta), diga, "sim, e elas são ambas frutas" não dê nenhuma outra instrução ou esclarecimento. Após o ensaio, diga: "Agora me diga em que um trem e uma bicicleta são parecidos". Após a resposta, aplique a segunda tentativa dizendo: "Agora me diga em que uma régua e um relógio são parecidos". Não dê nenhuma instrução adicional ou dica.

Pontuação: Somente os últimos pares de itens são pontuados. Dê 1 ponto para cada par de itens corretamente respondidos. As seguintes respostas são aceitas; trem-bicicleta=meios de transporte, meios de viajar, você viaja em ambos; régua-relógio=instrumentos de medida, usados para medir. As seguintes respostas não são aceitas: trem-bicicleta=eles têm rodas; régua-relógio=eles têm números.

## 10. Evocação Tardia

Aplicação: O examinador dá as seguintes instruções: "Anteriormente eu li algumas palavras para você, as quais eu pedi que você se lembrasse. Me diga quantas dessas palavras você pode lembrar." Faça uma marca (✓) para cada uma das palavras lembradas corretamente espontaneamente sem nenhuma pista, no espaço alocado.

Pontuação: Atribua 1 ponto para cada palavra lembrada livremente sem nenhuma pista.

## Opcional

Após a tentativa de evocação livre, dê dicas para o sujeito com a lista de categoria semântica abaixo para qualquer palavra não lembrada. Faça uma marca(✓) no espaço alocado. Se o sujeito lembrar da palavra com a ajuda da categoria ou da pista de múltipla escolha, dê dica para todas as palavras não lembradas dessa maneira. Se o sujeito não lembrar da palavra após a pista da categoria, dê a ele a tentativa de múltipla escolha, usando a seguinte instrução como exemplo, "Qual das seguintes palavras você acha que era, nariz, rosto ou mão?" Use a seguinte categoria e/ou pista de múltipla escolha para cada palavra, quando apropriado: ROSTO pista de categoria: parte do corpo, múltipla escolha: nariz, rosto, mão. VELUDO pista de categoria: tipo de tecido, múltipla escolha: jeans, algodão, veludo; IGREJA pista de categoria: tipo de construção; múltipla escolha: igreja, escola, hospital; MARGARIDA pista de categoria: tipo de flor; múltipla escolha: rosa, margarida, tulipa VERMELHO pista de categoria: uma cor múltipla escolha: vermelho, azul, verde.

Pontuação: Não são atribuídos pontos para palavras lembradas com pista. A pista é usada somente como proposta para informação clínica e pode dar ao avaliador do teste informação adicional sobre o tipo de distúrbio de memória. Para déficits de memória com falha de resgate, o desempenho pode ser melhorado com a pista. Para déficits de memória com falha de registro, o desempenho não melhora com a pista.

## 11. Orientação

Aplicação: O examinador dá as seguintes instruções: “*Diga-me a data de hoje*”. Se o sujeito não der a resposta correta, então diga imediatamente: “Me diga [o ano, mês, data exata e o dia da semana]”. Então diga: “*Agora me diga o nome deste lugar e em que cidade fica*”.

Pontuação: Atribua 1 ponto para cada item corretamente respondido. O sujeito deve dizer a data e local exatos (nome do hospital, setor, consultório). Não são atribuídos pontos se o sujeito comete erro de um dia para outro dia e a data.

**Resultado Total:** some todos os resultados listados à margem direita. Adicione 1 ponto para o indivíduo que possui 12 anos de escolaridade formal ou menos para um máximo possível de 30 pontos. O resultado total final de 26 ou acima é considerado normal.

Fonte: Sarmento, 2009.

## ANEXO 5 – ORIENTAÇÕES SOBRE USO DO TESTE H-BAT

### Como usar o H-BAT iOS

Se houver alguma dúvida, entre em contato com o seguinte: konno.rei00@keio.jp

### CONFIGURAÇÃO UDID - 00008020-001D1C1C3E80402E

- Recomenda-se o uso de um fone de ouvido sem microfone.
- Durante os testes de produção, o dedo deve tocar dentro do botão do círculo mostrado no Centro. Tenha cuidado para que o tablet se mova durante a batida. Pode ser melhor se você tem um material que o impede de se mover.

### SOBRE O APP

- Abra o aplicativo e, após inserir o ID do participante (e se desejar, insira o e-mail endereço para o qual deseja que os dados sejam enviados, toque no botão “Enviar ID”.
- Na página superior, há seis slides no total; Teste de audição, MTT, BIT, BFIT, BST e uma tabela de resultados.
- Para BIT, BFIT e BST, existem dois botões para tarefa de percepção e produção tarefa.
- Além do teste de audição, cada teste pode ser feito apenas uma vez. Depois que o resultado for calculado, esse teste não pode mais ser testado. O botão ficará inativo e escurecido, para que você possa ver qual já foi feito.

### TESTE AUDITIVO

- Este teste serve para ajustar o volume. Use os botões na lateral do tablet. Se o participante se sentir confortável com o volume, toque em “pronto” no canto superior direito.
- Se você está planejando fazer MTT, use este teste para que os participantes entendam o procedimento de "bater em quatro batidas".

### TESTE DE GRAVAÇÃO DE MÚSICA (MTT)

- Existem 3 gêneros e 3 tempos.
- Toque com a música em quatro batidas.
- Toque no botão circular no centro da tela. Os participantes podem tocar em qualquer lugar, se for dentro do botão.
- Durante o toque, certifique-se de que apenas o dedo usado para tocar o botão.

Tenha cuidado para que outras partes da mão não estejam tocando a tela, ou então o botão não responderá ao toque do dedo.

- Para cada toque, não deixe o dedo colocado na tela, mas levante imediatamente. Toque forte e claramente.

### Sessão de treino

- Apenas 3 gêneros serão reproduzidos em seu tempo original.
- Uma vez que as músicas serão tocadas imediatamente, o botão "Iniciar" pode ser melhor para participantes para tocar.
- Após cada tentativa, um pop up julgando se o tap foi em quatro batidas ou não aparecerá.

De acordo com o resultado, instrua o participante.

- Se necessário, pergunte ao participante se ele já ouviu falar da música.
- A próxima tentativa começará após 3 segundos o botão “Próximo” é tocado.

- Após 3 tentativas, uma janela pop-up aparecerá se você quiser passar para a sessão de teste. E se necessário, selecione o botão “Ainda não” para fazer a sessão prática novamente. Se estiver bem, selecione

Botão “OK”.

#### **Sessão de Teste**

- Haverá 18 ensaios (3 gêneros \* 3 tempos \* 2 loops cada.)
- Não há intervalos durante a sessão de teste.
- Depois que todas as tentativas forem feitas, um pop-up com os resultados (Slarv, Sllrv, Slent) aparecerá.

Você não precisa gravá-los.

#### **TESTE DE INTERVALO DE BATIDA (BIT)**

- Um som de metrônomo será reproduzido.
- Existem dois padrões de mudança de andamento, ficando mais rápido / mais lento.

- O teste de percepção é um método de "duas alternativas de escolha forçada", o participante deve discriminar e responder como o andamento muda.

- No teste de produção, toque com o metrônomo.

#### **Teste de percepção**

- Se o tempo estiver ficando mais rápido, toque no botão esquerdo com o dedo indicador da mão esquerda, se o andamento está ficando mais lento, toque no botão direito com o dedo indicador da mão direita.

- Após selecionar, toque no botão “Enter” com o polegar.

- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.

#### **Sessão de treino**

- Haverá 2 tentativas; 1. Mais lento 2. Mais rápido.
- Verifique se o participante está entendendo as regras.
- Para cada tentativa, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão “OK”. Se a resposta está errada, pergunte como o andamento mudou. Se o participante respondeu a segunda questionar corretamente, instrua qual botão é qual.

- A próxima tentativa começará após 3 segundos o botão “Próximo” é tocado.

- Após duas tentativas, uma janela pop-up será exibida. Pressionar o botão “Avançar” irá mover diretamente para a sessão de teste (intervalo de 5 segundos).

- Se for necessário fazer a sessão de prática novamente, toque em "topo" no canto superior esquerdo após selecionando o botão “Próximo”. Irá para a página inicial.

#### **Sessão de Teste**

- Não há intervalos durante a sessão de teste.
- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.

- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

#### **Teste de produção**

- Toque no botão circular no centro da tela. Os participantes podem tocar em qualquer lugar, se for dentro do botão.

- Durante o toque, certifique-se de que apenas o dedo usado para tocar o botão.

Tenha cuidado para que outras partes da mão não estejam tocando a tela, ou então o botão não responderá ao toque do dedo.

- Para cada toque, não deixe o dedo colocado na tela, mas levante imediatamente. Toque forte e claramente.
- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.

#### **Sessão de treino**

- Haverá 2 tentativas; 1. Mais lento 2. Mais rápido.
- Verifique se o participante está entendendo as regras.
- Para cada tentativa, um gráfico aparecerá. Mostra como o participante tocou. Após o gráfico, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão "OK".
- Se o número de toques não for suficiente, um alerta será exibido, indicando para tocar mais. Toque Botão "OK", e o mesmo teste começará imediatamente.
- Após 2 tentativas, uma janela pop-up aparecerá se você quiser passar para a sessão de teste. E se necessário, selecione o botão "Ainda não" para fazer a sessão prática novamente. Se estiver bem, selecione "Próximo botão".

#### **Sessão de Teste**

- Não há intervalos durante a sessão de teste.
- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.
- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

#### **ENCONTRO DE BATIDA E TESTE DE INTERVALO (BFIT)**

- Um som de metrônomo com um certo padrão de ritmo será reproduzido.
- Existem dois padrões de mudança de andamento, ficando mais rápido / mais lento.
- O teste de percepção é um método de "duas alternativas de escolha forçada", o participante deve discriminar e responder como o andamento muda.
- No teste de produção, toque com o metrônomo em quatro batidas.

#### **Teste de percepção**

- Se o tempo estiver ficando mais rápido, toque no botão esquerdo com o dedo indicador da mão esquerda, se o andamento está ficando mais lento, toque no botão direito com o dedo indicador da mão direita.
- Após selecionar, toque no botão "Enter" com o polegar.
- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.

#### **Sessão de treino**

- Haverá 2 tentativas; 1. Mais lento 2. Mais rápido.
- Verifique se o participante está entendendo as regras.
- Para cada tentativa, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão "OK". Se a resposta está errada, pergunte como o andamento mudou. Se o participante respondeu a segunda questão corretamente, instrua qual botão é qual.
- A próxima tentativa começará após 3 segundos o botão "Próximo" é tocado.
- Após duas tentativas, uma janela pop-up será exibida. Pressionar o botão "Avançar" irá mover diretamente para a sessão de teste (intervalo de 5 segundos).
- Se for necessário fazer a sessão de prática novamente, toque em "topo" no canto superior esquerdo após selecionando o botão "Próximo". Irá para a página inicial.

#### **Sessão de Teste**

- Não há intervalos durante a sessão de teste.

- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.

- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

Teste de produção

- Toque no botão circular no centro da tela. Os participantes podem tocar em qualquer lugar, se for dentro do botão.

- Durante o toque, certifique-se de que apenas o dedo usado para tocar o botão.

Tenha cuidado para que outras partes da mão não estejam tocando a tela, ou então o botão não responderá ao toque do dedo.

- Para cada toque, não deixe o dedo colocado na tela, mas levante imediatamente. Toque forte e claramente.

- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.

Sessão de treino

- Haverá 2 tentativas; 1. Mais lento 2. Mais rápido.

- Verifique se o participante está entendendo as regras.

- Para cada tentativa, um gráfico aparecerá. Mostra como o participante tocou.

- Depois do gráfico, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão "OK".

- Se o número de toques não for suficiente, um alerta será exibido, indicando para tocar mais. Toque o Botão "OK", e o mesmo teste começará imediatamente.

- Após 2 tentativas, uma janela pop-up aparecerá se você quiser passar para a sessão de teste. E se necessário, selecione o botão "Ainda não" para fazer a sessão prática novamente. Se estiver bem, selecione o Botão "OK".

Sessão de Teste

- Não há intervalos durante a sessão de teste.

- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.

- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

TESTE DE SALIÊNCIA DE BATIDA (BST)

Certifique-se de estar em um ambiente silencioso. Este teste usa um interno microfone durante o teste de produção (permita que o aplicativo acesse microfone.)

- Um som de metrônomo com acentos será reproduzido.

- Existem dois padrões de medidores, duplo / triplo.

- O teste de percepção é um método de "duas alternativas de escolha forçada", o participante deve discriminar e responder se são medidores duplos ou triplos.

- No teste de produção, toque com o metrônomo incluindo os acentos.

Teste de percepção

- Se o medidor for duplo, toque no botão esquerdo com o dedo indicador da mão esquerda, se o medidor é triplo, toque no botão direito com o dedo indicador da mão direita.

- Após selecionar, toque no botão "Enter" com o polegar.

- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.

Sessão de treino

- Haverá 2 tentativas; 1. Duplo 2. Triplo.
- Verifique se o participante está entendendo as regras.
- Para cada tentativa, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão "OK". Se a resposta está errada, pergunte como o andamento mudou. Se o participante respondeu a segunda questionar corretamente, instrua qual botão é qual.
- A próxima tentativa começará após 3 segundos o botão "Próximo" é tocado.
- Após duas tentativas, uma janela pop-up será exibida. Pressionar o botão "Avançar" irá mover diretamente para a sessão de teste (intervalo de 5 segundos).
- Se for necessário fazer a sessão de prática novamente, toque em "topo" no canto superior esquerdo após selecionando o botão "Próximo". Irá para a página inicial.

#### Sessão de Teste

- Não há intervalos durante a sessão de teste.
- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.
- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

#### Teste de produção

- Toque no botão circular no centro da tela. Os participantes podem tocar em qualquer lugar, se for dentro do botão.
- Durante o toque, certifique-se de que apenas o dedo usado para tocar o botão.

Tenha cuidado para que outras partes da mão não estejam tocando a tela, ou então o botão não responderá ao toque do dedo.

- Para cada toque, não deixe o dedo colocado na tela, mas levante imediatamente. Toque claramente.
- Antes de cada tentativa começar, um som de bipe será reproduzido e, em seguida, o metrônomo.
- Toque no início do metrônomo (após o som do bipe).
- Mesmo que o participante não ouça se é um medidor duplo / triplo, não pare de bater. E se o participante ouve o medidor, fixe a força de toque.
- Insista para que os participantes batam no medidor de forma claramente diferente. Não mude a força de a batida de acordo com a amplitude do que o participante ouve.

UM EXEMPLO RUIM: É um metro duplo e a diferença de amplitude em S (forte) e W (Fraco) é grande -> toque em S e W claramente diferentes. É um metro duplo, mas a diferença de amplitude em S e W é pequena -> toque em S e W sem quase nenhuma diferença.

UM BOM EXEMPLO: Independentemente da diferença de amplitude em S e W, toque em S e

É claramente diferente.

- Se a torneira estiver muito fraca, o microfone não pode gravar o som corretamente.

#### Sessão de treino

- Haverá 2 tentativas; 1. Duplo 2. Triplo.
- Verifique se o participante está entendendo as regras.
- Para cada tentativa, um gráfico aparecerá. Mostra como o participante tocou; se a torneira a força era claramente diferente, se a torneira fraca fosse muito fraca.

- Depois do gráfico, um pop-up mostrará se a resposta está correta, toque no botão “OK”.

- Se o número de toques não for suficiente, um alerta será exibido, indicando para tocar mais. Toque o Botão “OK”, e o mesmo teste começará imediatamente.

- Após 2 tentativas, uma janela pop-up aparecerá se você quiser passar para a sessão de teste. E se necessário, selecione o botão “Ainda não” para fazer a sessão prática novamente. Se estiver bem, selecione

Botão “OK”.

- Recomendo que você verifique o gráfico corretamente. Mesmo que a resposta esteja correta, se você acha difícil julgar apenas olhando para o gráfico, você deve instruir o participante e, se necessário, execute a sessão prática novamente.

Sessão de Teste

- Não há intervalos durante a sessão de teste.

- O número total de tentativas depende do Paradigma Two-downOne-upStaircase.

- Depois de um tempo, uma janela pop-up com o resultado aparecerá. Você não precisa gravá-los.

EXTRA: TABELA DE RESULTADOS

- A tabela mostra os limites de todas as tarefas de BIT, BFIT, BST e Slarv, Sllrv, Slent para MTT.

Fonte: Fujii&Schlaug (2013).

## ANEXO 6 – PROCEDIMENTO DO TESTE H-BAT

### Lista de verificação detalhada para o estudo:

Código do Participante: \_\_\_\_\_

Sessão: \_\_\_\_\_

Data: \_\_\_\_\_

Pesquisador (testador): \_\_\_\_\_

#### Itens necessários para o teste

- Caneta
- iPad e cabo de alimentação (certifique-se de que haja bateria suficiente)
- Fones de ouvido

#### Explicação do H-BAT

“Neste teste, você deverá tocar nesta tela ou responder enquanto ouve o som tocado no fone de ouvido”.

#### Teste auditivo

##### Instrução

“Primeiramente, gostaria que você ajustasse o volume do aparelho. Conforme você ouve a música, ajuste o volume usando o botão na lateral do dispositivo. Ajuste até se sentir confortável”.

#### Teste de toque musical

##### Instrução

“Neste teste, você ouvirá três músicas; Rock, Pop e Jazz. Toque no ritmo das músicas em quatro batidas. Toque com o dedo indicador direito e toque no botão redondo mostrado na tela. Levante o dedo toda vez que você tocar, e toque claramente”.

- Use o Teste de Audição para explicar como bater em quatro batidas.

“Vou demonstrar como bater em quatro batidas.”

- Mostre o papel explicando como posicionar o dedo.

- Praticar

Deslize a página e toque em MTT.

“Você sabe como bater em quatro batidas?” (Se não, adicione um pouco mais de explicação)

“Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto, pressione o botão iniciar mostrado no centro. ”

(Depois de cada música) “Você já ouviu falar dessa música antes? (1: Nunca, 2: Várias vezes, 3: Muitas vezes) ”

(Depois de três músicas) "Esse foi o fim da prática."

Teste

“Vamos passar para a sessão de teste. A partir de agora, você terá que fechar os olhos e não se mexer seu corpo durante o teste. ”

“Você está pronto? Por favor, feche seus olhos.”

Toque no botão “Próximo”.

Após o teste

“Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido.

### **Teste de intervalo de batida**

#### *Instrução*

“Neste teste, você ouvirá os sons do metrônomo. Existem dois padrões de sons; aquele em que o ritmo torna-se mais rápido e aquele que se torna mais lento”.

#### **©Tarefa de Percepção**

Se você tiver feito a tarefa de produção primeiro.

“Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá os sons do metrônomo com mudanças de andamento.”

Instrução

“Responda usando os botões mostrados na tela. Se você sentiu que o ritmo estava ficando mais rápido, selecione o botão esquerdo usando o dedo indicador esquerdo, se você sentir que está ficando mais lento, selecione o botão direito usando o dedo indicador direito. Após selecionar, toque no botão Enter com o polegar. Antes do início do teste, você ouvirá um som de bipe, então o julgamento começa”.

Praticar

Deslize a página e toque em Percepção de BIT.

“Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto, pressione o botão iniciar mostrado no centro. ”

3 (Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

Teste

“Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos”.

Toque no botão “Próximo”.

Após o teste

“Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido. ”

#### **©Tarefa de produção**

Se você fez a tarefa de percepção primeiro.

“Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá os sons do metrônomo com mudanças de andamento.”

Instrução

“Toque no botão circular com o metrônomo. Por exemplo, se o ritmo está ficando mais rápido, toque no som que você ouve assim: ‘ta-ta-ta-ta-ta (ficando mais rápido)’ (toque com o som). Se o ritmo está ficando mais lento, toque assim: ‘ta-ta-ta-ta-ta (ficando mais lento)’ (toque com o som). Antes de cada julgamento, você ouvirá um som de bipe, então o julgamento começa”.

- Praticar

Deslize a página e toque em Produção de BIT.

“Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto, pressione o botão iniciar mostrado no centro. ”

(Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

(Se precisar de mais prática, selecione o botão “Ainda não”) “Vamos fazer a sessão de prática novamente.”

- Teste

“Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos”.

- Toque no botão “Próximo”.

- Após o teste

“Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido”.

### **Teste de intervalo e descoberta de batidas**

#### *Instrução*

“Neste teste, você ouvirá os sons do metrônomo. Diferente do teste anterior (BIT), você ouvirá um certo padrão de ritmo mudando o andamento. O padrão é assim: ‘ta-tatata- tata-tatata-’ (as notas estão escritas no Fujii et al., 2013) ”

#### © **Tarefa de Percepção**

- Se você tiver feito a tarefa de produção primeiro.

“Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá padrões de ritmo com mudanças de andamento”.

- Instrução

“Responda usando os botões mostrados na tela. Se você sentiu que o ritmo estava ficando mais rápido, selecione o botão esquerdo usando o dedo indicador esquerdo, se você sentir que está ficando mais lento, selecione o botão direito usando o indicador direito dedo. Após selecionar, toque no botão Enter com o polegar. Antes do início do teste, você ouvirá um som de bipe, então o julgamento começa”.

- Praticar

Deslize a página e toque em percepção BFIT.

“Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto,

pressione o botão iniciar mostrado no centro. ”

(Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

Teste

"Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos".

Toque no botão "Próximo".

Após o teste

"Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido. "

© **Tarefa de produção**

Se você fez a tarefa de percepção primeiro.

"Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá padrões de ritmo com mudanças de andamento."

Instrução

"Toque no botão do círculo em quatro batidas do padrão. Por exemplo, se o tempo está ficando mais rápido, toque no som que você ouve assim: 'ta-tatata- tata-tatata- (ficando mais rápido)' (toque com o som em quatro batidas). Se o

o ritmo está ficando mais lento, toque assim: 'ta-tatata- tata-tatata- (ficando mais lento)' (toque com o som em quatro batidas). Antes do início do teste, você ouvirá um bipe e o teste começará".

Praticar

Deslize a página e toque em Produção de BIT.

"Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto, pressione o botão iniciar mostrado no centro."

(Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

(Se precisar de mais prática, selecione o botão "Ainda não") "Vamos fazer a sessão de prática novamente."

Teste

"Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos".

Toque no botão "Próximo".

Após o teste

"Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido. "

**Teste de Saliência de Batida**

Instrução

"Neste teste, você ouvirá dois tipos de sons de metrônomo com acentos; medidor duplo e medidor triplo.

Você está familiarizado com esses dois?" (Se não estiver familiarizado, explique os medidores duplos e triplos.)

### ©Tarefa de Percepção

- Se você tiver feito a tarefa de produção primeiro.

“Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá ritmos métricos duplos e triplos.”

- Instrução

“Responda usando os botões mostrados na tela. Se você sentiu o metrônomo uma dupla, selecione o botão esquerdo usando o dedo indicador esquerdo, se você sentiu o metrônomo triplo, selecione o botão direito usando o botão direito

dedo indicador. Após selecionar, toque no botão Enter com o polegar. Antes do início do julgamento, você ouvirá um sinal sonoro, então o julgamento começa”.

- Praticar

Deslize a página e toque em Percepção BST.

“Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto, pressione o botão iniciar mostrado no centro”.

(Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

- Teste

“Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos. ”

- Toque no botão “Próximo”.

- Após o teste

“Vamos passar para o próximo teste. Tire o fone de ouvido”.

### © Tarefa de produção

- Se você fez a tarefa de percepção primeiro.

“Nesta tarefa, mais uma vez, você ouvirá ritmos métricos duplos e triplos.”

- Instrução

“Toque no botão circular com o metrônomo, toque nas batidas fortes, fortes e nas batidas fracas, fracas. Por exemplo, se você ouvir o som como este: ‘tatatatata (em duple)’, toque no som assim: ‘tatatatata (em

duple) ’(toque com o som). Se você ouvir assim: ‘tatatatata (em triplo)’, toque assim: ‘tatatatata (em triplo) ’ (toque com o som). Antes do início do teste, você ouvirá um bipe e, em seguida, o teste começa”.

“Neste teste, toque no início do metrônomo, o que significa logo após o sinal sonoro.

E mesmo se você não tiver certeza se o metrônomo que está ouvindo é um metro duplo ou triplo, não pare de bater. Depois de ter certeza com o medidor, conserte seus acentos. Além disso, toque nos acentos e não acentos claramente diferentes. Independentemente da amplitude que você ouve, mantenha a intensidade do seu toque/batida durante todos os julgamentos. Por exemplo, se você tocar contra 'tatatatata (clara diferença entre forte e fraco)' como este 'tatatatata' (toque no som com clara

diferença entre forte e fraco), toque contra 'Tatatata (metro triplo, mas quase nenhuma diferença entre forte e fraco)' assim 'tatatatata '(toque no som com clara diferença entre forte e fraco)".

"Você entende o que eu estou dizendo?" (Se não, explique mais. Ou faça a sessão prática juntos.)

Praticar

Deslize a página e toque em Produção BST.

"Temos uma sessão de treinos, então vamos começar do treino. Coloque o fone de ouvido e, se estiver pronto,

pressione o botão iniciar mostrado no centro".

Após cada música, verifique o gráfico pop-up para o seguinte:

- Existe uma diferença clara entre batidas fortes e fracas?

- A batida fraca é muito fraca? (Se muito fraco, o microfone não consegue captar a batida corretamente)

Se necessário, instrua o participante.

(Depois de duas músicas) "Esse foi o fim da prática."

(Se precisar de mais prática, selecione o botão "Ainda não") "Vamos fazer a sessão de prática novamente."

Teste

"Vamos passar para a sessão de teste. Você está pronto? Por favor, feche seus olhos".

Toque no botão "Próximo".

Após o teste

"Tire o fone de ouvido."

Fonte: Fujii & Schlaug (2013).