

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS E COMPORTAMENTO

PATRICIA SILVA DE CAMARGO

**Caracterizando a dinâmica de treino por simulação mental: aspectos teóricos,
comportamentais e eletrofisiológicos**

SÃO PAULO
2023

PATRICIA SILVA DE CAMARGO

**Caracterizando a dinâmica de treino por simulação mental: aspectos teóricos,
comportamentais e eletrofisiológicos**

Versão corrigida

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências.

Área de concentração: Neurociências e Comportamento.

Orientador: Prof. Dr. André Frazão Helene

SÃO PAULO

2023

AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL
DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU
ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE
CITADA A FONTE.

Catálogo na publicação
Biblioteca Dante Moreira Leite
Instituto de Psicologia da Universidade de São
Paulo
Dados fornecidos pelo(a) autor(a)

CAMARGO, PATRICIA SILVA DE

Caracterizando a dinâmica de treino por simulação mental: aspectos teóricos, comportamentais e eletrofisiológicos / PATRICIA SILVA DE CAMARGO; orientador ANDRÉ FRAZÃO HELENE. São Paulo, 2023.

124 f.

Tese (Doutorado em Ciências - Programa de Pós-Graduação em Neurociências e Comportamento) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, 2023.

1.Treino imaginativo. 2. Simulação mental. 3.Aprendizagem implícita. 4.Estrutura probabilística. 5.ERPs. I.HELENE, ANDRÉ FRAZÃO, orient. II. Título.

Nome: CAMARGO, Patricia Silva de

Título: Caracterizando a dinâmica de treino por simulação mental: aspectos teóricos, comportamentais e eletrofisiológicos

Tese apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutora em Ciências (Neurociências e Comportamento).

Aprovado em: 07 / 11 / 2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. André Frazão Helene (presidente)

Instituição: IB - USP

Prof. Dr. Gilberto Fernando Xavier

Instituição: IB - USP

Prof. Dr. Marcelo Fernandes da Costa

Instituição: IP - USP

Prof. Dr. Claudia Domingues Vargas

Instituição: UFRJ

Prof. Dr. Paulo Roberto Cabral Passos

Instituição: PosDoc - FFCLRP

Ao meu irmão Thiago (*in memoriam*), que tinha o prazer em me ver alcançando meus sonhos, com muito amor e saudade infinita, mas com a certeza de sua presença
viva em meu ser.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e aos meus pais, Rosana e Geraldo, que nunca mediram esforços e investimentos em minha educação, sempre me apoiaram incondicionalmente e me guiaram com muito amor e fé na busca dos meus sonhos. Sem vocês eu não estaria aqui hoje.

Ao meu irmão, Lucas, meu maior incentivador e amigo, àquele a quem me espelho desde menininha. À minha cunhada-irmã, Michelle, que está em minha vida desde sempre, me apoiando, me dando colo e me fazendo nunca desistir. Aos meus afilhados e filhos do coração, Ana Beatriz e Enrico, que despertam o que há de mais belo em meu ser e me fazem acordar todos os dias querendo ser o meu melhor. À minha avó, Esmeralda, que se orgulha tanto em dizer que sua neta é pesquisadora, mesmo com todas as adversidades e limitações da vida. À Maria Helena, uma mãe que a vida me trouxe, por estar sempre torcendo por mim. Amo todos vocês.

Agradeço ao Frazão pela confiança desde o primeiro dia e parceria que se estende além da orientação acadêmica. Você foi essencial ao longo de todos esses anos, sempre me guiando no mundo acadêmico, além de proporcionar debates científicos e intelectuais, e ensinamentos que vão além da ciência. A todos os meus colegas de LabCog que se tornaram amigos ao longo dos anos, Karla, Julia, Ana Clara e Clevinho. Muito obrigada por se fazerem presentes (até na pandemia), pela ajuda com as coletas, conversas, sofrimentos, encontros, festas na laje, churrascos e bolos. Em especial à Mila, Yani e Pedro que se tornaram grandes amigos a quem eu devo muito do que sou hoje e me orgulho por estarmos de mãos dadas nessa louca jornada na ciência. Meus agradecimentos também aos amigos do Lab “vizinho”, Luan, Gabi, Isa e Bruna, por toda a parceria, inclusive em viagens e aos colegas do NeuroMat, Fernando, Noslen e Paulo por toda a ajuda e auxílio com as pesquisas. À Amanda e aos amigos do PAE, companheiros que a neurociência me apresentou.

Um agradecimento especial a todos os professores que tive o prazer de encontrar e compartilhar durante estes anos, que proporcionaram os melhores ensinamentos científicos e humanos, que nunca desistiram da ciência e da educação, mesmo enfrentando várias batalhas durante a pandemia. À Prof. Mirella, à Prof. Daniela e ao Prof. Marcelo que me acolheram e orientaram durante o estágio PAE, sempre dispostos a sanar dúvidas, ensinar e compartilhar.

A todos os voluntários que se dispuseram a participar da pesquisa, sem nenhum retorno financeiro, apenas pela credibilidade e crença na Ciência.

À CAPES pela concessão da bolsa de doutorado e apoio financeiro, à FAPESP e ao NeuroMat pelo apoio financeiro e científico para a realização dessa pesquisa, em especial à Prof. Claudia, Prof. Galves, Lourdes e Marilucia, por todo apoio, auxílio e disponibilidade durante todas as etapas da minha pesquisa e também por me proporcionarem a divulgação dos meus achados científicos.

Por fim, eu estendo meus agradecimentos a meus amigos da vida, Pam, Luh, Tais, Paulinha, Ligia, André, Mari, Camis, Caio, Nathy, Laurinha, Mirella e Carlinha, por toda a paciência, amor, amizade, reencontros e incentivos ao longo dessa jornada. Muito obrigada por nunca largarem a minha mão e sempre se fazerem presentes, cada um à sua maneira. Amo compartilhar essa existência com vocês. "Já foi, e foi lindo!"

RESUMO

CAMARGO, P. S. (2023). **Caracterizando a dinâmica de treino por simulação mental: aspectos teóricos, comportamentais e eletrofisiológicos**. Tese (Doutorado Direto em Ciências - Programa de Neurociências e Comportamento). Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

O aprendizado de sequências em uma tarefa sensório-motora pode ser previsto pela estrutura de encadeamento de eventos unitários, descritos através de uma abordagem baseada na introdução de processos estocásticos conduzidos por modelos de árvores de contexto. Isso se torna possível dada a relação entre sequências de estímulos e processos estocásticos associados com o seu processamento, a ação motora decorrente deste e as consequências sensoriais desta ação, o que permite, inclusive a reconstrução das árvores a partir da análise da atividade cortical ou do desempenho motor observado. Uma abordagem avaliativa que pode auxiliar no aperfeiçoamento de habilidades motoras, em consequência da geração de aspectos visuais e cinestésicos do movimento sem a ação *per se* desta é o treino imaginativo por meio de uma prática imaginativa ou simulação mental, que prescinde da integridade de aferências e eferências para ser executado e que pode manter, ao menos centralmente, atividade compatível com aquela esperada para condições reais de execução motora. O objetivo do estudo é avaliar o impacto do treinamento por meio de simulação mental para a aquisição de sequências motoras definidas por uma árvore de contexto, do impacto neural mensurável associado ao desempenho imaginativo e de sua possível aplicação terapêutica na clínica. Foram coletados os dados iniciais referentes à observação do impacto da estrutura probabilística definida por uma árvore de contexto no desempenho dos voluntários em condições imaginativas. Participaram desse primeiro estudo 20 voluntários saudáveis, que foram distribuídos em grupo de execução motora (n=10) e grupo de simulação mental (n=10). Foram submetidos às avaliações: Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo e Questionário de Imagética Motora Cinestésica e Visual. O experimento consistiu em uma apresentação de 750 estímulos auditivos seguindo uma estrutura de eventos sequenciais baseada em uma árvore de contexto. Foi pedido para o voluntário realizar uma tarefa de toque de dedos ao ouvir um número (1, 2 ou 3), em que o grupo de execução motora deveria realizar a ação e o de simulação mental apenas imaginar a realização da ação. Para a análise dos tempos de reação foi aplicada uma Análise de Variâncias (ANOVA) univariada GLM adequada para uma distribuição de Poisson, seguida de um teste post-hoc de Tukey para comparações múltiplas. Os resultados demonstraram uma compatibilidade significativa da estrutura probabilística na condição de simulação mental quando comparada à execução real da ação, em que o efeito de aprendizagem da sequência probabilística foi mais compatível com a estrutura definida pela árvore de contexto.

Para o segundo estudo, a mesma tarefa de tempo de reação serial com a utilização de EEG foi realizada em um total de 18 indivíduos saudáveis divididos em grupo de execução motora (n=9) e simulação mental (n=9). Para a análise dos potenciais evocados foi realizado um teste t pareado, seguido de permutação ($p < 0,05$) e FDR (*False Discovery Rate*) para comparações múltiplas. Foi encontrada a presença dos potenciais P200 e P300 nos canais F3, Fz e FC2 para as comparações das probabilidades de ocorrência dos estímulos nos grupos de execução motora e simulação mental demonstrando uma possível compatibilidade com a árvore de contexto utilizada para ambos os grupos.

Palavras-chave: Simulação mental. Treino imaginativo. Aprendizagem implícita. Estrutura probabilística. ERPs. P300.

ABSTRACT

CAMARGO, P. S. **Characterizing the dynamics of training by mental simulation: theoretical, behavioral, and electrophysiological aspects.** 2023. Tese (Doutorado Direto em Ciências - Programa de Neurociências e Comportamento) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

The learning of sequences in a sensory-motor task can be predicted by the chaining structure of unitary events, described through an approach based on the introduction of stochastic processes driven by context tree model. This becomes possible given the relation between sequences of stimuli and stochastic processes associated with their processing, the motor action resulting from this, and the sensory consequences of this action, which allows the reconstruction of the tree from the analysis of cortical activity or the observed motor performance. An evaluative approach that can help to improve motor skills, as a result of the generation of visual and kinesthetic aspects of the movement without the action per se, is the imagery training through a mental practice or mental simulation, which dispenses with the integrity of afferences and efferences to be executed and that can maintain, at least centrally, compatible activity with that expected for the real conditions of motor execution. The aim of the study is to evaluate the impact of mental simulation for the acquisition of motor sequences defined by a context tree, the measurable neural impact associated with imaginative performance, and its possible therapeutic application in the clinic area. Initial data referring to the observation of the impact of the probabilistic structure defined by a context tree on the performance of volunteers under imaginative conditions were collected. Twenty healthy volunteers participated in this first study, who were divided into a motor execution group (n=10) and a mental simulation group (n=10). The following assessments were performed: *Edinburgh Handedness Inventory* and *Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire - Brazilian version*. The experiment consisted of a presentation of 750 auditory stimuli following a sequential event structure based on a context tree. The volunteer was asked to perform a finger tapping task when hearing a number (1, 2 or 3), in which the motor execution group should perform the action and the mental simulation group just imagine the action. For the analysis of reaction times, a GLM univariate Analysis of Variance (ANOVA) suitable for a Poisson distribution was applied, followed by a post-hoc Tukey test for multiple comparisons. The results demonstrated a significant compatibility of the probabilistic structure in the mental simulation condition when compared to the real execution of the action, in which the learning effect of the probabilistic sequence was more compatible with the structure defined in the context tree. For the second study, the same serial reaction time task using EEG was performed on a total of 18 healthy individuals divided into motor execution (n=9) and mental simulation (n=9) groups. For the analysis of evoked potentials, a paired t test was performed, followed by permutation ($p < 0.05$) and FDR (False Discovery Rate) for multiple comparisons. The

presence of P200 and P300 potentials in the F3, Fz, and FC2 channels was found for comparisons of the probabilities of stimuli occurrence in the motor execution and mental simulation groups, demonstrating a possible compatibility with the context tree used for both groups.

Keywords: Mental simulation. Imagery training. Imagery. Implicit learning. Probabilistic structure. ERPs. P300.

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Quantidade de cada evento em cada bloco experimental da sequência de estímulos auditivos.....	60
Tabela 2.2 - Características demográficas e funcionais dos participantes	64
Tabela 3.1 - Características demográficas e funcionais dos participantes do experimento comportamental e eletroencefalográfico (n=18) contendo valores das médias e desvios padrão.....	82
Tabela 1A - Características demográficas e funcionais dos participantes do experimento comportamental (n=40) contendo valores de média e desvio padrão.....	121

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da dinâmica dos modelos internos. (FONTE: Extraído de Rangel, Maria Luíza Sales, 2015).....	21
Figura 2 - Representação esquemática da teoria de atualização do contexto ou do modelo mental proposta por Donchin (1981). (FONTE: extraído de Polich, John, 2003).....	24
Figura 2.1 - Probabilidades de ocorrência de cada evento da sequência gerada ao longo do experimento definidas na árvore de contexto.....	59
Figura 2.2 - Representação esquemática de cada tentativa nas condições de Execução Motora e de Simulação Mental, e Setup experimental.....	61
Figura 2.3 - Probabilidade de ocorrência de cada evento da sequência gerada no experimento.....	62
Figura 2.4 Desempenho do Grupo de Execução Motora em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	64
Figura 2.5 Desempenho do Grupo de Simulação Mental em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	65
Figura 2.6 Desempenho do Grupo de Execução Motora em Função do Impacto do Passado das Ocorrências de Eventos da Árvore de Contexto.....	67
Figura 2.7 Desempenho do Grupo de Simulação Mental em Função do Impacto do Passado das Ocorrências de Eventos da Árvore de Contexto.....	68
Figura 3.1 - Sistema BrainVision actiCHamp.....	78
Figura 3.2 - Montagem de 32 eletrodos ActiCAP baseada no Sistema Internacional EEG 10-20.....	80
Figura 3.3 - Desempenho do Grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	83
Figura 3.4 - Desempenho do Grupo de Simulação Mental (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	84
Figura 3.5 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos F2 e V2.....	85
Figura 3.6 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos V2 e V3.....	86
Figura 3.7 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Simulação Mental (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos F2 e V2.....	87

Figura 3.8 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Simulação Mental (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos V2 e V3.....	88
Figura 1A - Desempenho do Grupo de Execução Motora (n=20) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	122
Figura 2A - Desempenho do Grupo de Simulação Mental (n=20) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.....	123

LISTA DE APÊNDICES E ANEXOS

APÊNDICE A - TCLE Comportamental.....	101
APÊNDICE B - TCLE EEG.....	104
ANEXO A - Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo.....	108
ANEXO B - KVIQ10-P.....	109
ANEXO C - Resultado da análise comportamental (n=40).....	121

LISTA DE ABREVIATURAS

EEG - eletroencefalografia

LTP - potencial de longa duração

TEPT - transtorno de estresse pós-traumático

TCC - terapia cognitivo-comportamental

DP - doença de Parkinson

ERP - *event-related potential*

F1 - elemento fixo da sequência probabilística (100% de probabilidade de ocorrência)

F2 - elemento fixo da sequência probabilística (100% de probabilidade de ocorrência)

V2 - elemento variável da sequência probabilística (26% de probabilidade de ocorrência)

V3 - elemento variável da sequência probabilística (74% de probabilidade de ocorrência)

SUMÁRIO

Introdução Geral.....	18
Referências.....	25
Objetivos.....	28
Geral.....	28
Específico.....	28
Capítulo I. Revisão Bibliográfica.....	29
Treino imaginativo: a imaginação como estratégia inovadora de aprendizagem de ações motoras	29
1. Aprendizagem implícita por meio de treino imaginativo.....	32
1.1. Avaliação do empenho e qualidade imaginativa.....	34
2. Modalidades de treinamento imaginativo.....	35
2.1. Treino imaginativo visual.....	35
2.2. Treino imaginativo auditivo.....	36
2.3. Treino imaginativo motor.....	38
3. Aplicações clínicas e funcionais do treino imaginativo.....	40
Considerações finais.....	44
Referências.....	44
Capítulo II. Experimento 1.....	53
Estrutura probabilística e análise comportamental na execução motora e simulação mental.....	53
1. Introdução.....	53
2. Materiais e métodos.....	55
2.1. Arranjo experimental.....	55
Voluntários.....	55
Aspectos éticos.....	55
Critérios de inclusão e exclusão.....	55
2.2. Avaliações funcionais.....	56
2.3. Estrutura da sequência de estímulos da tarefa.....	57
2.3.1. Estrutura geral.....	57
2.3.2. Fase pré-teste ou de familiarização.....	59
2.3.3. Fase de teste.....	60
2.4. Análise estatística.....	61
3. Resultados.....	62
3.1. Caracterização dos voluntários.....	62
3.2. Análises de desempenho em função das probabilidades de ocorrência dos eventos.....	63
Execução motora.....	63
Simulação mental.....	65
3.3. Análises de desempenho em função do impacto do passado imediato das ocorrências de eventos.....	66
Execução motora.....	66
Simulação Mental.....	67
4. Discussão.....	68
5. Conclusão.....	72

Referências.....	72
Capítulo III. Experimento 2.....	75
Análise de ERPs durante tarefa de tempo de reação serial em execução motora e simulação mental.....	75
1. Introdução.....	75
2. Materiais e métodos.....	76
2.1. Arranjo experimental.....	76
Voluntários.....	76
Aspectos éticos.....	77
Critérios de inclusão.....	77
Eletroencefalografia (EEG).....	77
2.2. Avaliações funcionais.....	78
2.3. Experimento comportamental.....	78
2.4. Registro e análise eletroencefalográfica.....	79
2.5. Análise estatística.....	81
3. Resultados.....	81
3.1. Caracterização dos voluntários.....	81
3.2. Análises de desempenho em função das probabilidades de ocorrência dos eventos.....	82
Execução motora.....	82
Simulação mental.....	83
3.3. Análise eletroencefalográfica dos potenciais evocados (ERPs).....	85
Execução motora.....	85
Simulação mental.....	87
4. Discussão.....	89
5. Conclusão.....	93
Referências.....	93
Discussão Geral.....	96
Referências.....	99
APÊNDICE A - TCLE COMPORTAMENTAL.....	101
APÊNDICE B - TCLE EEG.....	104
ANEXO A - INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDIMBURGO.....	108
ANEXO B - KVIQ10-P.....	109
ANEXO C - RESULTADO DA ANÁLISE COMPORTAMENTAL (n=40).....	121

Introdução Geral

A busca incessante do ser humano por estratégias criativas e inovadoras na imaginação de cenários ou experiências oriundas da mente, a fim de explorar problemas e soluções, melhorar habilidades e promover o autoconhecimento está inteiramente ligada ao conceito e às capacidades tratadas por simulação mental.

Ao pensarmos em histórias de ficção científica sobre esta temática atualmente explorada pelo cinema hollywoodiano e por plataformas de streaming, a série antológica britânica de ficção científica, “Black Mirror”, criada por Charlie Brooker, se destaca ao explorar a sociedade moderna num futuro próximo, principalmente quando se trata das consequências das tecnologias emergentes e seu intenso conflito com a natureza humana (Brooker, 2015). Os autores da série, no episódio da primeira temporada intitulado “*The entire history of you*”, em português “Toda a sua história”, ambientam o cenário em uma realidade alternativa onde a população possui implantes de chip em forma de “grãos” que gravam tudo o que fazem, vêem ou ouvem, e também permitem a reprodução futura de suas lembranças frente aos seus olhos ou em uma tela, além de permitir o arquivamento e uso das memórias em um imenso banco de dados do governo (Brooker, 2015). A narrativa trata, em uma analogia, da memória humana em sua mais pura concepção, desde a captura de informações do meio externo até a sua consolidação em forma de memória computacional, podendo ser reproduzida conforme a necessidade que o indivíduo tiver no futuro e oferecendo a perspectiva de que as memórias não existam apenas na vivência real de fatos e eventos, mas também em uma perspectiva imagética, por um simulacro que daria a oportunidade de aprendermos e criarmos novas memórias descoladas das situações reais. A ideia de que a simulação mental faz parte de um processo de emulação do cérebro, no qual seja possível replicar fatos, eventos e atividades cognitivas em um ambiente mental imagético sem a execução real dos mesmos, nos leva, tanto na metáfora computacional quanto nas experiências imaginadas, a uma melhor compreensão das complexas relações e

dinâmicas relacionadas ao cérebro humano, como a aprendizagem de uma maneira geral.

Ao longo da vida humana, com a experiência contínua de aquisição de novas informações, compreensões e habilidades motoras, o produto final da memória é compreendido como aprendizagem, tipicamente entendida num contexto de que estas expressam apenas as vivências reais e escondendo possíveis caminhos simulados de confabulações e condições emuladas onde o aprendizado poderia se dar. Ao criar estratégias de estudo para lembrar informações importantes para um teste na escola, ao observar diretamente uma coreografia de dança para treiná-la em seguida ou ao se imaginar fazendo uma grande jogada de futebol durante um jogo o ser humano consegue melhorar sua compreensão e refinar as habilidades em diversas tarefas do dia-a-dia apenas observando, simulando ou executando uma ação na ausência de sua vivência real.

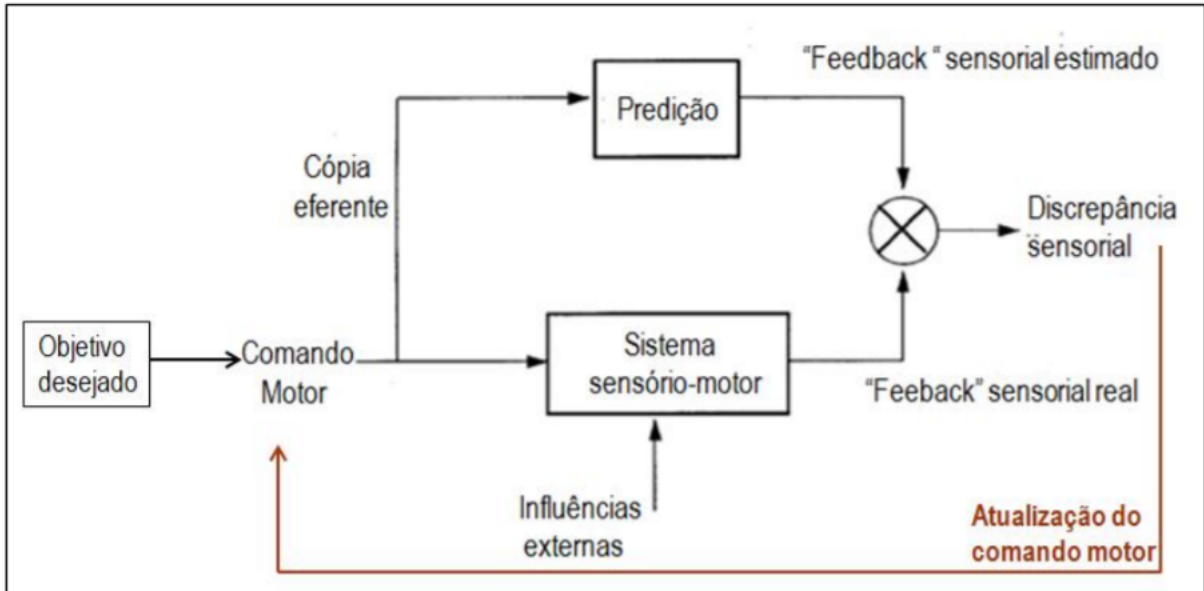
De fato, o ser humano tem uma habilidade excepcional em estabelecer relações entre eventos e emoções, em perceber padrões e sequências, em predizer eventos futuros e seus resultados. Essa habilidade de aprendizado nada mais é do que a aprendizagem implícita, e pode ser tratada experimentalmente na aprendizagem implícita de sequências (Janacsek & Nemeth, 2012). Para o aprendizado ser considerado implícito é necessário que as novas informações sejam absorvidas naturalmente através de um ambiente de estímulos complexos, sem que haja necessariamente a intenção de fazê-lo ou que haja acesso consciente ao que foi aprendido, tipicamente sem estar associado à capacidade de expressar verbalmente o que foi aprendido (Cleeremans, Destrebecqz & Boyer, 1998). Existem diversas maneiras de proporcionar a aquisição desse tipo de aprendizagem, seja observando um contexto particular, realizando uma tarefa que contenha padrões, ou por meio de prática ou simulação mental de uma ação (Abbruzzese et al., 2015; Hardwick et al., 2018).

A teoria da Simulação Mental proposta por Jeannerod (2001) prevê uma semelhança, em termos neurais, entre o estado onde uma ação é simulada e o

estado de execução dessa ação, ou seja, as ações simuladas são compatíveis com aquelas reais quanto à atividade neural envolvida, mesmo não sendo executadas. Uma característica que define a teoria da simulação mental em relação ao treino imaginativo motor é que este tipo de prática é a “contraparte psicológica da operação off-line das áreas motoras eferentes” (Grush, 2004). Esse processo de simulação mental ocorre mesmo na ausência de estímulos que produzam efeitos perceptivos e sensoriais, já que não ocorre a execução de fato da ação (Bastos et al., 2013).

Para tratarmos de maneira mais estruturada sobre como tal operação off-line das áreas motoras eferentes se dá, como define Grush (2004), devemos, primeiramente, tratar de como se dá a execução motora de uma determinada tarefa. De fato, mesmo na execução real de uma ação há um importante aspecto de controle, entre uma ação planejada e cuja ordem de realização foi enviada e a possível análise de sua realização há um atraso, relacionado ao “*feedback*” sensorial. Este atraso interfere na capacidade do sistema motor de controlar precisamente o movimento, e para minimizar esse efeito, o sistema de cópia de eferência do comando motor atua na tentativa de compensar esses atrasos e prever o estado futuro do sistema (Wolpert & Ghahramani, 2000) (Figura 1). Seguindo esse raciocínio, a ação motora depende de uma série de processos que geralmente se iniciam com a identificação e processamento do estímulo, seguidos pelo planejamento e preparação do movimento, e, por fim, a execução motora. Aqui reside um aspecto importante, uma vez que, durante a simulação mental, a última etapa, a de execução motora, não ocorre, fazendo com que esse processo termine na preparação motora. Assim, não há efeitos sensoriais e motores oriundos da prática em si da execução motora, apesar de ser possível assumir que haja o efeito de expectativa sensorial imposto pelo mecanismo de cópia eferente inerente à preparação da ação.

Figura 1 - Representação esquemática da dinâmica dos modelos internos.



Um comando motor é gerado a fim de atingir um objetivo desejado. Uma cópia eferente do comando motor é utilizada para prever o estado futuro do sistema, gerando uma estimativa das consequências sensoriais do comando motor ("feedback" sensorial estimado). A comparação entre a estimativa sensorial e a informação sensorial real pode gerar um sinal de erro, devido à discrepância entre elas. Este sinal será utilizado para corrigir e atualizar o comando motor, e consequentemente as estimativas sensoriais do modelo preditivo. FONTE: Extraído de Rangel (2015, p. 18).

Em suma, o sistema de cópia eferente é importante para o controle motor humano, já que após o planejamento motor de uma ação desejada, um comando motor é gerado, juntamente com uma cópia eferente deste comando, e enviado ao nível efetor, com isso o sistema gera uma consequência sensorial estimada que será comparada ao "feedback" sensorial real após a ação motora, assim, podendo ocorrer uma discrepância sensorial entre eles, que será posteriormente corrigida no próximo comando motor diminuindo os atrasos e atualizando o comando motor. Isto permite que o sistema nervoso antecipe os resultados dos movimentos planejados, ajustando o comportamento motor com base nessas expectativas. Com isso, esse modelo interno de controle motor e predição de ações futuras é fundamental para a precisão e eficiência dos movimentos realizados pelo ser humano.

Há diversas maneiras de executar a simulação mental como uma forma de prática ou de treinamento mental, dentre elas está o treino imaginativo motor (para mais detalhes ver o capítulo I desta tese intitulado “Treino imaginativo: a imaginação como estratégia inovadora de aprendizagem de ações motoras”). Este tipo de treino é uma estratégia de repetição mental que utiliza imagens mentais para melhorar as habilidades e técnicas motoras específicas, além de aumentar a motivação, o engajamento e o desempenho do indivíduo. É muito comum na área esportiva, em que atletas incorporam esta técnica na rotina de treinamento físico para obterem um melhor desempenho durante a prática física, já que simulam mentalmente determinados movimentos antes de executá-los, assim, aprimorando-os mais rapidamente (Guillot & Collet, 2008). O treino imaginativo, então, facilita a aprendizagem implícita de sequências com conseqüente melhora do desempenho do indivíduo frente a tarefa motora pré-determinada (Wohldmann, 2007), além de aprimorar o desempenho em relação aos movimentos repetitivos comparados a prática motora isolada (Avanzino et al., 2009).

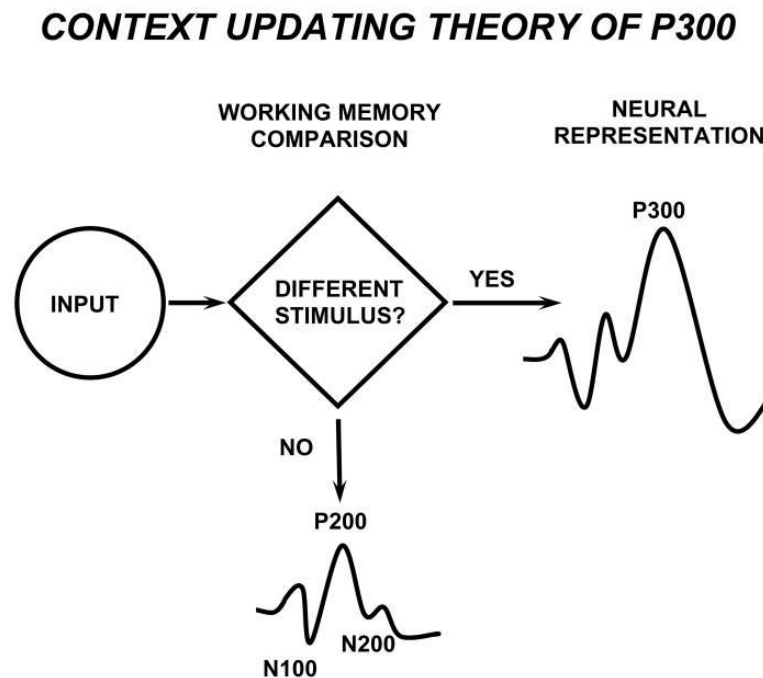
Como uma das habilidades do ser humano é aprender padrões de sequências, seja ao tocar instrumentos musicais, ouvir uma música ou ao andar de bicicleta, pesquisadores introduziram uma nova estrutura probabilística que aborda a conjectura de que o cérebro aprende tais estruturas de sequências por meio do aprendizado das regularidades estatísticas a partir de sequências de estímulos conduzidos por modelos de árvores de contexto (Duarte et. al., 2019). O chamado “contexto” pode ser definido como a sequência de unidades anteriores contendo as informações relevantes necessárias para gerar a próxima unidade (Rissanen, 1983). O conjunto de contextos define a partição do conjunto de todas as sequências anteriores possíveis sendo representado por uma árvore de contexto e para caracterizar a forma como a sequência de unidades é gerada, uma probabilidade de transição gerenciando a escolha da próxima unidade é associada a cada contexto (Hernández et al., 2021). Hernández e colaboradores (2021) demonstraram que as árvores de contexto, estruturas usadas para predição e decisão de eventos e que

geram a sequência probabilística de estímulos auditivos podem ser efetivamente extraídas dos dados de eletroencefalografia (EEG), assim, demonstrando aprendizagem da sequência pré-determinada. Seguindo este raciocínio, juntamente com a habilidade do cérebro em prever eventos de uma sequência, com a prática desta tarefa sequencial que leva à uma mudança no desempenho do indivíduo (Pavão et. al., 2016), é possível assumir que a aprendizagem implícita de sequências seja adquirida através de treinamento das unidades que a compõem, definidas pelos contextos e suas probabilidades.

Uma estratégia que permite avaliar e mensurar a atividade neural e os efeitos gerados pela ação ou simulação mental durante tarefas de aprendizagem implícita é por meio da captação, através de eletrodos no couro cabeludo, de Potenciais Evocados ou Potenciais Relacionados ao Evento (*Event-Related Potential - ERPs*). Estes ERPs são sinais neurais gerados a partir da atividade cortical que fornecem medidas diretas dos processos cognitivos à medida que ocorrem (Bradley & Keil, 2012). Um ERP pode ocorrer em diferentes momentos e condições de experimentação desde que surja do mesmo módulo, represente a mesma operação computacional e seja possível identificar seu início, por exemplo, a codificação de um item na memória operacional em uma determinada área do cérebro pode ocorrer em atrasos após o início de um estímulo devido a diferenças na quantidade de tempo necessária para identificá-lo e armazená-lo ou não na memória (Luck, 2014). Por fim, um modelo importante explicando a existência de alguns ERPs relacionados aos padrões antecipatórios, como o P300 (um potencial positivo com pico em torno de 300 ms após o estímulo), foi desenvolvida por Donchin (1981) e nomeada como Teoria da Atualização do Contexto ou do Modelo Mental (figura 2). A teoria postula que o sinal P300 está relacionado ao processo de atualização de contexto mental do ambiente, ou seja, as representações de contexto são representações amplas do estado geral do ambiente, não representações específicas de itens ou tarefas individuais em que o modelo mental do ambiente do indivíduo, também chamado de contexto, é avaliado e atualizado quando um estímulo relevante é apresentado

(Polich, 2007; van Dinteren et al., 2014; Donchin, 1981). Em outras palavras, após o processamento sensorial inicial, um processo atencional de comparação avalia a representação do evento anterior na memória operacional, se for o mesmo estímulo, o modelo mental atual é mantido e ERPs sensoriais são observados (N100, P200, N200), porém se for detectado um estímulo inesperado, os processos atencionais atualizam a representação do estímulo gerando um P300 (Polich, 2007).

Figura 2: Representação esquemática da teoria de atualização do contexto ou do modelo mental proposta por Donchin (1981).



Estímulos entram no sistema de processamento e um processo de comparação de memória verifica se o estímulo atual é o mesmo que o estímulo anterior (estímulo padrão ou estímulo-alvo na tarefa excêntrica). Se o estímulo recebido for o mesmo, o modelo neural do ambiente do estímulo permanece inalterado e a média do sinal do EEG revela potenciais evocados (N100, P200, N200). Se o estímulo recebido não for o mesmo, e sim um estímulo inesperado, o sujeito discrimina o alvo do estímulo padrão anterior, assim, o modelo neural do ambiente do estímulo é alterado ou atualizado, de modo que um potencial P300 é gerado. FONTE: Extraído de Polich. (2003, cap. 5).

Esta tese de doutorado propõe o estudo da prática da simulação mental como uma forma de aprendizagem implícita, e futuramente ser aplicada em protocolos de treinamento imaginativo na área de neuroreabilitação e gerontológica. Para isso,

investigamos o impacto da simulação mental durante uma tarefa de tempo de reação serial em uma população de indivíduos saudáveis. E também, o impacto neural mensurável ao desempenho imaginativo por meio do P300, o potencial de expectativa de ocorrência do evento visto por meio da técnica de EEG, para uma futura aplicação deste paradigma como forma de avaliação e atuação terapêutica na área clínica. Portanto, como hipótese desta tese, tendo em vista que a simulação mental é um tipo de prática imaginativa que ocorre na ausência de execução real em si da ação motora, este treinamento pode auxiliar no aprendizado motor e consequente desempenho motor de indivíduos saudáveis em tarefas do tipo “*finger tapping*”. Há a possibilidade de aplicação futura dessa técnica na prática clínica, seja como uma forma de avaliação clínica ou de treinamento imaginativo na neuroreabilitação ou no envelhecimento saudável.

Esta tese foi escrita na forma de coletânea de artigos científicos que serão apresentados ao longo de três capítulos. No capítulo I será apresentada uma revisão bibliográfica e considerações teóricas sobre o treino imaginativo, suas modalidades de treinamento e aplicações clínicas e funcionais (submetido para a Revista Neurociências e Comportamento, aceito para publicação). O capítulo II consistirá na descrição do desenho experimental 1 (experimento comportamental), seguida pelos resultados, discussão, e conclusões (submetido em formato traduzido para língua inglesa para a Revista Behavioural Brain Research). No capítulo III será apresentada a descrição do desenho experimental 2 (experimento comportamental com o uso de EEG), os resultados, discussão e conclusões (a ser submetido). Por fim, uma discussão geral da tese integrando todos os conteúdos abordados e resultados apresentados ao longo dos capítulos, e aplicabilidade futura.

Referências

Abbruzzese, G., Avanzino, L., Marchese, R., & Pelosin, E. (2015). Action observation and motor imagery: Innovative cognitive tools in the rehabilitation of parkinson's disease. *Parkinson's Disease*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/124214>

- Avanzino, L., Giannini, A., Tacchino, A., Pelosin, E., Ruggeri, P., et al. (2009). Motor imagery influences the execution of repetitive finger opposition movements. *Neuroscience Letters*, 466(1), 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.09.036>
- Bastos, A. F., Souza, G. G. L., Souza, M. M. R. de, Pinto, T. P., Lemos, T. T., & Imbiriba, L. A. (2013). Simulação mental de movimentos. *Revista Neurociências*, 21(4), 604–619. <https://doi.org/10.34024/rnc.2013.v21.8147>
- Bradley, M. M., & Keil, A. (2012). Event-Related potentials (erps). In *Encyclopedia of Human Behavior*. (79-85). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-375000-6.00154-3>
- Brooker, C. (2015, December 25). *Black Mirror*. Netflix. <https://www.netflix.com/title/70264888>
- Cleeremans, A., Destrebecqz, A., & Boyer, M. (1998). Implicit learning: News from the front. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(10), 406–416. [https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(98\)01232-7](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(98)01232-7)
- Donchin, E. (1981). Surprise!? Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493–513. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb01815.x>
- Duarte, A., Fraiman, R., Galves, A., Ost, G., & Vargas, C. D. (2019). Retrieving a context tree from EEG data. *Mathematics*, 7(5), 427. <https://doi.org/10.3390/math7050427>
- Grush, R. (2004). The emulation theory of representation: Motor control, imagery, and perception. *Behavioral and Brain Sciences*, 27(3), 377–396. <https://doi.org/10.1017/s0140525x04000093>
- Guillot, A., & Collet, C. (2008). Construction of the Motor Imagery Integrative Model in Sport: A review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 31–44. <https://doi.org/10.1080/17509840701823139>
- Hardwick, R. M., Caspers, S., Eickhoff, S. B., & Swinnen, S. P. (2018). Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 94, 31–44. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.08.003>
- Hernández, N., Duarte, A., Ost, G., Fraiman, R., Galves, A., & Vargas, C. D. (2021). Retrieving the structure of probabilistic sequences of auditory stimuli from EEG data. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83119-x>

- Janacsek, K., & Nemeth, D. (2012). Predicting the future: From implicit learning to consolidation. *International Journal of Psychophysiology*, 83(2), 213–221. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2011.11.012>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103–S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique, second edition* (2nd ed.). MIT Press.
- Pavão, R., Saviotto, J.P., Sato, J.R., Xavier, G.F., Helene, A.F. (2016). On sequence learning models: Open-loop control not strictly guided by Hick's law. *Scientific Reports.*, 6(1). <https://doi.org/10.1038/srep23018>
- Polich, J. (2003). Theoretical overview of p3a and p3b. In *Detection of Change* (pp. 83–98). Springer US. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-0294-4_5
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>
- Rangel, M. L. S. (2015). *Predição de eventos ocorrendo no espaço ao redor da mão: um estudo eletroencefalográfico em indivíduos saudáveis e em pacientes com lesão do plexo braquial* [Tese de Doutorado]. UFRJ.
- Rissanen, J. A. (1983). A universal data compression system. *IEEE Transactions on Information Theory*, 29(5), 656-664. <https://doi.org/10.1109/TIT.1983.1056741>
- van Dinteren, R., Arns, M., Jongsma, M. L. A., & Kessels, R. P. C. (2014). P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, 9(2), e87347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087347>
- Wohldmann, E.L., Healy, A.F., Bourne, L.E. (2007). Pushing the limits of imagination: Mental practice for learning sequences. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 33(1), 254–261. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.1.254>
- Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3(S11), 1212–1217. <https://doi.org/10.1038/81497>

Objetivos

Geral

Avaliar o impacto do treinamento por meio de simulação mental (prática imaginativa) para a aquisição de sequências motoras definidas por uma árvore de contexto e o impacto neural mensurável associado ao desempenho imaginativo para uma futura aplicação avaliativa e terapêutica na clínica.

Específico

Testar se o efeito da expectativa sensorial produzida pela prática imaginativa:

1. Induz uma alteração do comportamento semelhante àquela observada em condições de execução motora, em uma tarefa tempo de reação serial, com base na estrutura da árvore de contexto aplicada.
2. Induz atividade cortical mensurável por meio de uma análise de padrões fisiológicos expressos no EEG referentes ao sinal de ERP, assim como ocorre na aquisição de habilidades motoras de execução real da ação.

Capítulo I. Revisão Bibliográfica

Treino imaginativo: a imaginação como estratégia inovadora de aprendizagem de ações motoras

O uso de estratégias de aquisição de ações motoras por treino imaginativo é um tema abordado pela literatura de esportes, da música e da reabilitação motora, além de procedimentos experimentais, no entanto, seu uso carece de fundamentação teórica em publicações científicas de língua portuguesa, o que pretendemos tratar no presente artigo.

Memória pode ser definida como a capacidade do sistema nervoso em armazenar informações, acessíveis e/ou recuperáveis, consciente ou automaticamente, para um determinado uso no futuro. O processo pelo qual se dá a aquisição dessas informações é conhecido como aprendizagem e pode ser entendida como uma manifestação dos processos neurobiológicos e neuropsicológicos da formação da memória (Kandel & Squire, 2000). De forma esquemática é possível organizar os processos de formação de memória em fases, a primeira envolve a codificação e aquisição, seguindo-se uma fase de retenção e uma terceira de consolidação (Lent, 2010). Assim, tratar de formação de memórias, estabelecida nos processos de aprendizado, envolve tratar de como os processos de codificação/aquisição, retenção e consolidação se dão e, para evidenciar a importância do treino imaginativo de tarefas motoras, se deve tratar de como isso pode ocorrer para diferentes tipos de memória (Kandel & Squire, 2000; Lent 2010).

Aqui vale tratar de maneira específica sobre os aspectos referentes àquelas memórias de longa duração e seus subcomponentes, entendidos como de natureza explícita e implícita. A memória explícita (ou declarativa) é responsável pela aquisição, retenção, consolidação e recuperação/evocação de informações que podem ser acessíveis de maneira verbal e consciente, tais como fatos, eventos e nomes (Squire & Zola-Morgan, 1991). Essa forma de memória é amplamente

estudada e, geralmente, testada em experimentos de memória de palavras ou objetos (Schacter et al., 1993) e estão relacionadas à atividade neural em regiões do cérebro como o hipocampo e o córtex pré-frontal (Davachi, 2006). Um fato importante sobre a memória explícita envolve a possibilidade de aquisição dessa modalidade de memória após apenas uma experiência com a informação a ser lembrada. Também é importante mencionar a relação entre o sistema operacional e a memória explícita, expressa por Baddeley (2000) em seu modelo de memória operacional por meio do constructo teórico de um “*buffer episódico*”. A possibilidade de adquirir uma memória explícita a partir de uma única experiência e por meio do sistema de memória operacional são aspectos importantes para a descrição de memórias explícitas, pois tanto parece haver um forte componente “*top-down*” para sua aquisição, como parece haver o envolvimento de processos que permitam a formação de alterações duradouras no sistema a partir de uma experiência única com um fato ou evento que será recordado. Parte importante dessas questões envolvem o hipocampo. A própria descrição do sistema de memória explícita remonta à descrição feita por Scoville e Milner (1957) de lesões no hipocampo que resultavam em uma forma de amnésia anterógrada que tornaram o paciente Henry Gustav Molaiso (H.M.) incapaz de formar novas memórias explícitas, como resultado de uma lesão bilateral do córtex temporal medial envolvendo também o hipocampo. De fato, como descrito posteriormente o hipocampo é crucial para memórias a longo prazo (Eichenbaum, 2013a; Squire & Zola-Morgan, 1998; Eichenbaum, 2013b). Parte importante do papel hipocampal está associada à grande plasticidade neuronal, como a presença de processos de LTP (potenciação de longa duração), no qual a força de uma sinapse aumenta após estímulos repetidos (Bliss & Lomo, 1973). Assim, tanto os aspectos “*top-down*” quanto o arquivamento de experiências a partir de uma única experiência parecem compatíveis com o que se encontra nas áreas associadas às memórias explícitas.

Já a memória implícita (ou não-declarativa) é responsável pela aquisição e armazenamento de habilidades e comportamentos, como a aprendizagem motora, a

discriminação sensorial e o condicionamento clássico (Schacter et al., 1993). Em geral se aceita que a memória implícita independe de articulação consciente para seu aprendizado ou para sua recuperação, e que poderia ser avaliada apenas por meio da observação do desempenho das tarefas específicas treinadas (Schacter et al., 1993). Isso impediria que aquisições de memória implícitas possam se dar por meio de processos “*top-down*”. No entanto, como demonstrado por vários autores (Paivio, 1971; Finks et al., 1989; Helene & Xavier, 2006), memórias implícitas podem ser adquiridas por meio de ensaios de simulação mental sem a realização da tarefa *per se*, por meio de articulação atencional. Essas evidências são importantes para o debate acerca de como se dá a aquisição de memórias implícitas. Mais ainda, permite abrir uma questão importante sobre como é possível aprimorar experiências de aprendizado em condições em que o desempenho seja diretamente atrelado aos ganhos de memórias implícitas, como se dá em condições de treinamento imaginativo.

Dessa forma, apesar de parecer clara a distinção do que se poderia esperar dos processos de aquisição de memórias explícitas e implícitas por meio de um treino imaginativo, com claro desfavorecimento da aquisição de memórias implícitas por essa modalidade de treino, há evidências que apontam em outra direção (ver adiante). Apesar da proposta de que apenas memórias explícitas sejam naturalmente relacionadas aos processos de aquisição “*top-down*”, enquanto memórias implícitas em tese deveriam ser adquiridas apenas por meio “*bottom-up*”, parece haver evidências em grande quantidade de que essa possibilidade exista. Essa distinção, aqui apresentada em bases teóricas, é também bastante familiar à forma como tratamos o aprendizado ou treinamento de cada um destes tipos de memória. Assim, é comum que se estabeleça a noção de que apenas se pode aprender, por exemplo, a tocar piano, tocando piano. Portanto, parece importante tratarmos das formas de aquisição de memórias implícitas por treinamento imaginativo.

1. Aprendizagem implícita por meio de treino imaginativo

Uma das formas como se expressam tarefas de memória implícita é nas execuções motoras, que experimentalmente podem ser estudadas no aprendizado de sequência de movimentos. O aprendizado implícito de ações motoras encadeadas em uma sequência, e guiadas por um estímulo sensorial, envolvem uma rede de áreas motoras corticais e subcorticais interconectadas: especialmente as áreas pré-motora, motora e motora suplementar do córtex frontal; os gânglios da base e o cerebelo (Jeannerod, 2001; Hardwick, 2018). Já no controle voluntário destas ações é esperado que haja também o envolvimento das áreas pré-frontais do córtex (Hardwick, 2018), exercendo um controle sobre a função executiva e a intencionalidade dos movimentos que requerem antecipação e previsão de movimentos (Leisman et al., 2016).

Nesse sentido a teoria da simulação mental indica que os processos cognitivo-motores, como a imagética motora e a observação da ação compartilham as mesmas ativações que a execução motora de fato (Jeannerod, 2001) e as regiões motoras são ativadas durante a imaginação motora e a representação cognitiva do movimento (Munzert et al., 2009). Há muitas técnicas eficazes e amplamente estudadas capazes de estimular a aprendizagem implícita por treino imaginativo por meio de imagens mentais (Pearson et al., 2015). As imagens mentais ocorrem quando a informação perceptiva é acessada da memória, dando origem à experiência de “ver com os olhos da mente”, por exemplo, levando o indivíduo a reexperimentar uma versão do estímulo original ou alguma nova combinação de estímulos, contrastando com a percepção que ocorre quando a informação é registrada diretamente dos sentidos (Kosslyn et al., 2001).

Sendo assim, as imagens mentais não precisam resultar da lembrança de objetos ou eventos previamente percebidos; também podem ser criadas combinando e modificando as informações perceptivas armazenadas de novas maneiras. Nem sempre precisam ser voluntárias; eventos externos ou associações internas também

podem desencadear uma imagem mental, mesmo que a pessoa não queira vivenciar a imagem naquele momento (Pearson et al., 2015; Pearson & Westbrook, 2015). Assim, a similaridade subjetiva de ver e imaginar sugere que a percepção e a imaginação apresentam representações internas comuns, além de possuir mecanismos de processamento semelhantes (Ishai et al., 2000), como a interação entre padrões visuais imaginados e observados simultaneamente para melhorar o desempenho sensorial em uma tarefa de detecção (Ishai & Sagi, 1995).

Muitos estudos demonstraram que as imagens mentais podem funcionar de forma semelhante à percepção. Por exemplo, imaginar linhas orientadas pode induzir um efeito de orientação espacial (Mohr et al., 2011) e imaginar um estímulo em movimento pode levar a um efeito de movimento em um estímulo perceptivo subsequente, semelhante com a percepção real (Winawer et al., 2010). A vivacidade e a força sensorial das imagens mentais desempenham um papel notório em quase todas as funções cognitivas que abrangem formas de simulação sensorial (Keogh & Pearson, 2017). Evidências sugerem que as imagens mentais visuais são utilizadas durante a manutenção da memória de trabalho visual (Keogh & Pearson, 2014), ao lembrar eventos passados ou pensar no futuro (Byrne et al., 2007), em tomada de decisões morais (Gaesser & Schacter, 2014) e na compreensão da linguagem (Bergen et al., 2007). Já em distúrbios psiquiátricos e neurológicos, a vivacidade e a força das imagens mentais são mais acentuadas (Shine et al., 2015; Matthews et al., 2013).

Ademais, as imagens mentais também podem substituir os estímulos perceptivos durante vários tipos de aprendizagem, como na aprendizagem perceptiva em uma tarefa de detecção ou discriminação (Tartaglia et al., 2009) ou no condicionamento clássico com imagens mentais formadas voluntariamente ao invés de estímulos perceptivos (Lewis et al., 2013), demonstrando uma generalização da imagem que foi imaginada com o conteúdo perceptivo.

1.1. Avaliação do empenho e qualidade imaginativa

Ao estudar o fenômeno da imagética é importante estabelecer uma avaliação da capacidade de imaginação do indivíduo. Técnicas distintas são utilizadas para essa avaliação, como entrevistas pessoais e auto-relatos, cronometria mental, técnicas de neuroimagem e neurofisiológicas (Collet et al., 2011). Os questionários de imagética para avaliar a facilidade de geração ou a vivacidade das imagens são amplamente utilizados, no entanto, acredita-se que essas classificações sejam influenciadas pelo conteúdo específico que está sendo visualizado, bem como pelas diferentes características das imagens, já que o conteúdo das imagens reflete o que o indivíduo está imaginando (Williams et al., 2012). Geralmente os trabalhos na área baseiam-se em dois aspectos da imagética, a imagética visual e a cinestésica (Williams et al., 2015) e, ao avaliar a capacidade de imaginação de um indivíduo, é necessário estabelecer a capacidade de criar imagens de diferentes conteúdos e até que ponto se pode imaginar o conteúdo usando diferentes características (Williams, 2019). A capacidade de imaginação, mesmo sendo variável entre os indivíduos, pode ser aprimorada e refinada, todavia, depende da capacidade em criar e controlar uma representação precisa do movimento (Williams, 2019).

Em relação ao desempenho adquirido com a prática imaginativa, de acordo com Pavão e colaboradores (2016), grandes mudanças no desempenho podem ser induzidas pela conjunção entre previsibilidade da sequência e a prática da mesma. Por exemplo, um estudo clássico de Baddeley e colaboradores (1975) observou-se que o desempenho de indivíduos submetidos a treinamento verbal ou imaginativo em tarefas de aprendizado de sequências apresentou melhores resultados naqueles que usaram treinamento imaginativo. Além disso, o treinamento imaginativo no aprendizado de sequências parece ser mais efetivo em tarefas que envolvem habilidades motoras (Sobierajewicz, 2016).

2. Modalidades de treinamento imaginativo

2.1. Treino imaginativo visual

A maior parte da literatura sobre as imagens mentais se fundamenta na hipótese de que a imaginação voluntária é baseada em combinações de informações recuperadas da memória previamente armazenadas. O modelo simples de imagens voluntárias proposto é o de hierarquia visual reversa, um modelo geral “*top-down*” de imagens mentais voluntárias (Dijkstra et al., 2017) que se iniciariam no alto da hierarquia de processamento cortical frontal desencadeando uma cascata de eventos neurais para a parte posterior, que recupera informações armazenadas ou memórias de regiões mais posteriores, como as áreas temporais mediais, e representações sensoriais e espaciais do conteúdo de imagens são formadas (Kim et al., 2013). Dessa forma, a representação “solicitada” envolvendo movimento e localização espacial envolveria secundariamente outras áreas, como as temporais médias e parietais (Pearson, 2019).

Apesar da formação ou manipulação de uma imagem mental envolver áreas frontais, a atividade nessas áreas parece independente do conteúdo das imagens, sugerindo que elas desempenham um papel organizacional ou executivo na coordenação de áreas espaciais e sensoriais, mas não de conter representações imagéticas *per se* (Schlegel, et al., 2013; Ishai et al., 2000; Pearson, 2019). Outras áreas também parecem estar envolvidas nestas imaginações visuais, como o hipocampo, na formação de imagens complexas ou espacialmente distribuídas embora o seu papel exato na imaginação permaneça indefinido (Hassabis et al., 2007).

O córtex visual primário tem sido amplamente estudado, especialmente a área V1, quando se fala em imagens mentais. O conteúdo das imagens mentais pode ser decodificado apenas a partir de áreas visuais primárias, incluindo V1 e V2, uma vez que há similaridade nos padrões de atividade gerados pelas imagens

mentais e na percepção visual, indicando haver ativação dos mesmos recursos visuais (Albers et al., 2013; Naselaris et al., 2015; Pearson et al., 2015). Isso é corroborado pelas evidências obtidas em estudos de ajuste de modelos retinotópicos, em que aqueles gerados na decodificação das imagens mentais eram não apenas compatíveis com aqueles gerados durante a apresentação reais de imagens (Thirion et al., 2006), como também permitiam identificar e reconstruir imagens mentais de estímulos (Slotnick et al., 2005).

Também a sensibilidade para orientação perceptiva e localização no espaço visual parece estar associada à anatomia de V1 e a precisão das imagens mentais de orientação espacial e localização no campo receptivo ao tamanho de V1 (Song et al., 2015; Bergmann et al., 2015). Neste sentido, as imagens mentais visuais parecem ter seus próprios limites de capacidade com reduções na força da imagem, vivacidade e precisão, e esses limites, provavelmente, se devem à capacidade do indivíduo, ou à falta dela, de criar representações mentais precisas no córtex visual primário (Keogh & Pearson, 2017).

Em relação às representações baseadas em imagens mentais, as imagens mentais visuais atendem a três critérios básicos: as representações mentais são semelhantes a imagens reais, na medida que são representadas em áreas cerebrais organizadas retinotopicamente; as representações mentais diferem das entradas perceptivas simultâneas; e as representações mentais desempenham um papel funcional na execução de tarefas inteligentes (Kosslyn et al., 1995; Slotnick et al., 2005). Assim, ao se guiar pelas representações mentais visuais, os humanos tendem a fazer com que os processos cognitivos se direcionem a um propósito, como quando utilizam-se de imagens mentais visuais para o raciocínio sobre o espaço ou conceitos abstratos (Kunda, 2018).

2.2. Treino imaginativo auditivo

As imagens mentais auditivas são denominadas como o processo pelo qual o indivíduo gera e processa imagens mentais na ausência de percepção sonora podendo ser tão vívidas quanto à experiência real da audição e tão precisas quanto às representações que surgem diretamente da entrada sensorial (Lima et al., 2015; Janata, 2012). A imagética auditiva é a persistência introspectiva de uma experiência auditiva, incluindo uma experiência construída a partir de componentes extraídos da memória de longo prazo, na ausência de instigação sensorial direta dessa experiência (Intons-Peterson, 2014). As imagens mentais auditivas incluem domínios que não são necessariamente auditivos, mas que pode ser vivenciado na modalidade auditiva, por exemplo, a linguagem e a música podem ser representadas na forma de escrita visual e na forma auditiva, já as imagens da fala ou da música podem incluir informações motoras relevantes para a articulação ou para o desempenho (Hubbard, 2010).

Há um número menor de trabalhos envolvendo essa modalidade de treino, e estes se concentram nos estudos da facilitação dos processos cognitivos e motores associados à atividade e desempenho musical. As regiões do cérebro envolvidas durante a imagética auditiva incluem: córtex parietal, córtex motor, córtex pré-motor, giro temporal superior, giro frontal inferior e área motora suplementar (McNorgan, 2012). Essas imagens parecem se basear na maioria das estruturas neurais ativadas durante a percepção auditiva (Kosslyn et al., 2001), sendo cruciais para a discriminação do tom durante a percepção de um estímulo auditório desempenhando um papel semelhante durante a imaginação (Zatorre & Halpern, 1993). Durante este tipo de imaginação ocorre a ativação do córtex temporal superior e inferior direito, áreas envolvidas no armazenamento e interpretação de sons não-verbais, e também dos hemisfério direito, lobo frontal e giro temporal superior, essenciais para a percepção auditiva de uma imagem auditiva de uma melodia (Halpern, 1999). O córtex parietal superior está associado à manipulação de eventos auditivos imaginários, como quando a tarefa exige que os participantes invertam mentalmente as notas de uma melodia (Zatorre et al., 2010). Por fim, a

área motora suplementar é ativada, independente se a melodia é recuperada ou ensaiada (Kosslyn et al., 2001), e juntamente com o córtex pré-motor parecem estar envolvidos na geração de imagens auditivas implicando numa ligação entre os processos sensório-motores e imagéticos (Herholz et al., 2012). Além de apresentar vínculos entre imagens auditivas, processamento de informações vocais ouvidas e imagens visuais (Lima et al., 2015).

Em relação a imaginação musical, a imagética auditiva afeta o toque dos dedos de forma semelhante à música percebida e induz uma diminuição do tempo que o indivíduo leva para imaginar, além de pistas auditivas que aumentam a vivacidade do treino imaginativo motor (Repp, 2001; Heremans et al., 2009). Além disso, as habilidades motoras e a capacidade de antecipação de imagética musical parecem estar relacionadas (Keller & Appel, 2010) sugerindo uma interação entre processamento motor e musical que se estende a estímulos ou ações imaginadas (Schaefer, 2014).

2.3. Treino imaginativo motor

O treino imaginativo motor corresponde a um tipo de prática mental que atua na tarefa em si e no aprendizado motor, ou seja, refere-se à representação mental de uma ação sem a execução real da mesma levando a uma melhora de habilidades motoras em consequência da geração de aspectos visuais e cinestésicos do movimento. (Schuster et al., 2011; Madan & Singhal, 2012). Este treino se vale de aspectos visuais (externos) e cinestésicos (internos), e pode-se usar duas perspectivas ao imaginar: perspectiva em “primeira pessoa” que está relacionada à visão da pessoa sobre o conteúdo das imagens ou à sua sensação cinestésica (visualiza o movimento através de sua própria visão) e perspectiva em “terceira pessoa” está relacionada a imagem visual de cenas fora da pessoa (assiste a si mesmo realizando uma ação da posição de espectador) (Abbruzzese et al., 2015).

As áreas do córtex sensório-motor e as áreas responsáveis pelo controle do movimento são ativadas durante este treino promovendo uma reorganização cortical e recuperação motora. De fato, as ações executadas e as imaginadas compartilham as mesmas estruturas neurais que recrutam regiões cerebrais sobrepostas, como o córtex pré-motor, cíngulo anterior, lobo parietal inferior e cerebelo (Decety, 1996a). Ao se imaginar fazendo um determinado movimento, as áreas cerebrais relevantes serão ativadas ocorrendo a construção de associações entre os processos implementados facilitando o desempenho motor (Maring, 1990).

No quesito comportamental, a execução e o treino imaginativo motor apresentam semelhanças como a isocronia mental, em que o tempo necessário para completar um movimento imaginado se assemelha ao tempo necessário para a execução real (Papaxanthis et al., 2002); as frequências cardíaca e respiratória que se elevam tanto durante a execução quanto imaginação do movimento (Decety et al., 1993); e os efeitos de menor intensidade após a ação motora no treino imaginativo motor quando comparado a execução real (Driskell et al., 1994). Assim, sugere-se que a execução motora e o treino imaginativo são conduzidos pelos mecanismos básicos da “hipótese da simulação” (Jeannerod, 2001).

O córtex motor é ativado durante a execução de uma tarefa motora, o que ocorre também durante a observação da ação realizada por um outro indivíduo consistente com a existência de neurônios-espelho no cérebro humano (Rizzolatti et al., 1996; Fadiga et al., 1995). O sistema de neurônios-espelho compreende áreas cerebrais do lobo parietal, córtex pré-motor, parte caudal do giro frontal inferior, ínsula e córtex frontal medial anterior (Cattaneo & Rizzolatti, 2009), apresentando um papel importante no aprendizado por imitação e na aquisição da linguagem, além de estarem envolvidos diretamente nas imagens motoras, consistente com a ideia de que os indivíduos transformam as imagens ao imaginar o que veriam se os objetos fosse manipulados de uma maneira específica (Rizzolatti et al., 2001). Assim, a observação da ação motora é baseada no princípio de que a imitação do movimento implica em observação motora, imagética motora e execução dos movimentos,

facilitando a aprendizagem motora (Abbruzzese et al., 2015; Mattar & Gribble, 2005). De modo geral, as imagens motoras oriundas do treino imaginativo podem alterar a ação neuronal nas áreas sensório-motoras de maneira comparável àquela observada em um movimento executado (Leisman et al., 2016).

A atividade cerebral durante o treino imaginativo motor é comparável à ativação durante a execução do movimento em si fazendo com que o córtex motor primário seja ativado de maneira semelhante aos movimentos reais e imaginários, bem como as áreas pré-motora dorsal, parietal superior e sulco intraparietal (Hollinger et al., 1999; Filimon et al., 2007). Essa ativação faz parte da representação motora ligada à intenção e preparação do movimento podendo ser consciente e/ou inconsciente de acordo com as circunstâncias envolvidas (Leisman et al., 2016).

Em relação aos processos de aprendizagem motora, o treinamento imaginativo motor induz melhorias no desempenho motor frente a uma tarefa motora pré-determinada (Abbruzzese et al., 2015; Wohldmann et al., 2007) e aprimora o desempenho de movimentos repetitivos comparados a prática motora isolada (Avanzino et al., 2009). Por exemplo, em uma tarefa de oposição de dedos, o desempenho motor é superior em condições de treino imaginativo e ocorre uma equivalência na aquisição implícita proporcionada por imaginar e executar a tarefa frente a estímulos apresentados em uma sequência aleatória ou repetitiva (Helene, 2006). Este tipo de treinamento envolve a memória operacional e o controle atencional levando a uma aquisição de habilidades implícitas a partir de um treino de sequências (Sobierajewicz, 2016), e tornando a atenção construída a partir da memória um fator facilitador e integrador de novas aquisições implícitas (Helene & Xavier, 2003).

3. Aplicações clínicas e funcionais do treino imaginativo

As imagens mentais apresentam um mecanismo cognitivo que desempenha um papel fundamental na psicopatologia de determinados transtornos psicológicos e neurológicos, podendo ser utilizado como uma ferramenta no tratamento clínico dos mesmos. Um grande exemplo é acerca das imagens mentais intrusivas que causam sofrimento ao indivíduo e são encontradas em uma variedade de transtornos mentais, como o transtorno de estresse pós-traumático (TEPT), o transtorno bipolar, a ansiedade, a esquizofrenia e a depressão (Holmes & Mathews, 2010; Brewin et al., 2010). O TEPT se desenvolve após um evento psicologicamente traumático sendo caracterizado pela recorrência desse evento por meio de memórias e sonhos indesejados fornecendo imagens mentais visuais e auditivas clinicamente relevantes, que podem ser passageiras ou não (Brewin, 2014). Contrastando com o transtorno bipolar que gera imagens voltadas para o futuro e “*flash forward*” para um ato suicida (Hales et al., 2011), e com a dificuldade em imaginar um futuro de maneira positiva na depressão (Blackwell et al., 2015).

Há evidências de que as imagens mentais provocam emoções mais fortes quando comparadas ao processamento verbal do mesmo conteúdo, sendo consistentes com a descoberta de que as memórias de conteúdos afetivos tem mais características sensório-perceptivas do que as memórias sem conteúdo afetivo, por exemplo durante uma crise de ansiedade (Arntz et al., 2005), e são classificadas como mais “reais” pelos indivíduos durante as alucinações na esquizofrenia tendo impacto no comportamento e emoções dos mesmos (Mathews et al., 2013).

Técnicas terapêuticas focadas no treinamento imaginativo são abordadas em alguns tratamentos, como a Terapia Cognitivo-Comportamental (TCC) que inclui uma exposição imaginativa levando o paciente a imaginar repetidamente um objeto ou um contexto temido até que seu nível de ansiedade desapareça, por exemplo, ao induzir uma redução dos sintomas de TEPT e fobia social diminuindo a frequência da imaginação intrusiva associada (Foa et al., 1980; Gene-Cos, 2006). Uma outra abordagem da TCC é a reescrita de imagens visando transformar o conteúdo das

imagens mentais, como a imaginação de uma situação negativa sendo alterada para uma imagem nova e mais adaptativa (Holmes et al., 2007).

Outras técnicas de treinamento imaginativo podem ser aplicadas como ferramentas terapêuticas na reabilitação da função motora após distúrbio motor e/ou neurológico, como a doença de Parkinson e o acidente vascular cerebral (Pearson et al., 2015; Cho et al., 2012). Numa simulação mental, por exemplo, quando se imagina repetidamente um evento futuro em uma tarefa motora, a probabilidade de ocorrência do evento aumenta influenciando diretamente a execução motora, com consequente aprendizagem e plasticidade cerebral (Decety, 1996b). Este comportamento é muito útil também na área esportiva e musical, já que o desempenho motor de excelência é almejado tanto pelos atletas quanto pelos músicos (Pearson et al., 2015).

A capacidade de imaginar movimentos é substancialmente preservada na doença de Parkinson (DP), principalmente nos estágios iniciais e intermediários da doença. Várias abordagens diferentes são utilizadas para testar a capacidade imaginativa incluindo a influência do tratamento farmacológico na vivacidade do treino imaginativo motor (Abbruzzese et al., 2015). Pessoas acometidas pela DP são capazes de imaginar de maneira semelhante aos adultos mais velhos quando estão sob o efeito ou não da medicação anti-Parkinson (Peterson et al., 2012), e as habilidades de imagética motora cinestésica são preservadas podendo ser melhoradas pelo treinamento imaginativo motor (Maillet et al., 2014). O uso e a implementação do treino imaginativo motor combinado à prática física como parte de protocolos de reabilitação neurofuncional conseguem reduzir um dos principais sintomas da DP, a bradicinesia, a causadora da lentidão na execução de movimentos voluntários (Tamir et al., 2007).

Na área esportiva, as diferentes perspectivas de treino imaginativo podem melhorar o desempenho motor sendo a perspectiva em primeira pessoa considerada mais eficaz na precisão do desempenho motor, enquanto a perspectiva em terceira pessoa é mais eficaz no aprendizado de uma tarefa, além de aumentar a velocidade

do movimento (White e Hardy, 1995). Evidências sugerem a preferência dos atletas de esportes mais complexos em realizar o treino imaginativo em terceira pessoa (Hardy e Callow, 1999; Yu et al., 2016), além da quantidade de prática mental realizada estar diretamente relacionada ao padrão de competitividade, tornando a percepção do atleta em relação ao treino imaginativo um fator de crescimento de desempenho, nível de concentração e engajamento (Cumming e Hall, 2002).

Já que a prática mental e a prática física produzem mudanças semelhantes na resposta neural, músicos habilidosos variam significativamente sua capacidade de imaginar resultados sensoriais e as ações associadas à sua habilidade (Brown & Palmer, 2012). Por exemplo, durante treino imaginativo de uma sequência motora ocorre uma importante ativação neural do córtex frontal proporcionando melhorias comportamentais semelhantes à prática física da mesma sequência motora (Jackson et al., 2003). Enquanto os pianistas aprendem uma determinada música, as informações auditivas ou motoras estão ausentes ou alteradas no treino imaginativo auditivo ou motor, e as diferenças individuais da capacidade de imaginação modulam a memória deles para a música (Brown & Palmer, 2012).

Por envolver processos semelhantes aos da percepção auditiva, as imagens mentais auditivas induzem os músicos a realizar julgamentos semelhantes sobre os mesmos sons quando percebidos e quando imaginados, sendo que os julgamentos de sons familiares imaginados refletem as características perceptivas desses sons (Hubbard, 2010; Brown & Palmer, 2013). Sons percebidos ou imaginados e imagens mentais auditivas para melodias familiares implicam em redes neurais parcialmente sobrepostas, envolvendo o córtex auditivo secundário (Bunzeck et al., 2005; Halpern, 1999), o que é capaz de fazer com que o treino imaginativo auditivo auxilie a aprendizagem sensório-motora ao recrutar processos cognitivos semelhantes aos da percepção dos resultados auditivos de tarefas sensório-motoras, como a performance musical (Brown & Palmer, 2013).

Considerações finais

De maneira sucinta, parece ser possível assumir que o treino imaginativo leva a uma estimulação e manutenção de certo grau de atividade cortical e excitabilidade corticoespinal, além da indução do processo de neuroplasticidade, tanto em pessoas saudáveis quanto em pessoas com distúrbios neurológicos e lesões nervosas central ou periférica (Fadiga et.al., 1998; Abbruzzese et.al., 1999; Bonnet et al., 1997). Por fim, o treino imaginativo se mostra como uma estratégia inovadora capaz de influenciar de maneira benéfica e sem custo às atividades rotineiras de pessoas saudáveis e/ou acometidas por algum tipo de distúrbio, seja de caráter psicológico ou neurológico, além de influenciar diretamente atletas e músicos a alcançarem uma performance de excelência em suas respectivas áreas profissionais.

Referências

- Abbruzzese, G., Assini, A., Buccolieri, A., Marchese, R., Trompetto, C. (1999). Changes of intracortical inhibition during motor imagery in human subjects. *Neurosci.Letters*,263(2–3),113–116.[https://doi.org/10.1016/s0304-3940\(99\)00120-2](https://doi.org/10.1016/s0304-3940(99)00120-2)
- Abbruzzese, G., Avanzino, L., Marchese, R., Pelosin, E. (2015). Action observation and motor imagery: Innovative cognitive tools in the rehabilitation of Parkinson's disease. *Parkinson's Dis.*, 2015, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2015/124214>
- Albers, A.M., Kok, P., Toni, I., Dijkerman, H.C., de Lange, F.P. (2013). Shared representations for working memory and mental imagery in early visual cortex. *Curr. Biol.*,23(15),1427–1431.<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.05.065>
- Arntz, A., de Groot, C., Kindt, M. (2005). Emotional memory is perceptual. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry*, 36(1), 19–34. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2004.11.003>
- Avanzino, L., Giannini, A., Tacchino, A., Pelosin, E., Ruggieri, P., et al. (2009). Motor imagery influences the execution of repetitive finger opposition movements. *Neurosci.Letters*,466(1),11–15.<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2009.09.036>
- Baddeley, A.D., Thomson, N., Buchanan, M. (1975). Word length and the structure of short-term memory. *J. Verbal Learning and Verbal Behavior*,14,575–589. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(75\)80045-4](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(75)80045-4)
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: A new component of working memory? *TrendsCogn.Sci.*,4(11),417–423.[https://doi.org/10.1016/s1364-6613\(00\)01538-2](https://doi.org/10.1016/s1364-6613(00)01538-2)

- Bergen, B.K., Lindsay, S., Matlock, T., Narayanan, S. (2007). Spatial and linguistic aspects of visual imagery in sentence comprehension. *Cogn. Sci.*, 31(5),733–764.<https://doi.org/10.1080/03640210701530748>
- Bergmann, J., Genç, E., Kohler, A., Singer, W., Pearson, J. (2015). Smaller primary visual cortex is associated with stronger, but less precise mental imagery. *Cereb. Cortex*,26(9),3838–3850.<https://doi.org/10.1093/cercor/bhv186>
- Blackwell, S.E., Browning, M., Mathews, A., Pictet, A., Welch, J., et al. (2015). Positive imagery-based cognitive bias modification as a web-based treatment tool for depressed adults. *Clinical Psychol. Sci.*,3(1),91–111.<https://doi.org/10.1177/2167702614560746>
- Bliss, T.V.P., & Lømo, T. (1973). Long-lasting potentiation of synaptic transmission in the dentate area of the anaesthetized rabbit following stimulation of the perforant path. *J. Physiol.*, 232(2), 331–356.<https://doi.org/10.1113/jphysiol.1973.sp010273>
- Bonnet, M., Decety, J., Jeannerod, M., Requin, J. (1997). Mental simulation of an action modulates the excitability of spinal reflex pathways in man. *Cogn. Brain Res.*, 5(3),221–228.[https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(96\)00072-9](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(96)00072-9)
- Brewin, C.R., Gregory, J.D., Lipton, M., Burgess, N. (2010). Intrusive images in psychological disorders: Characteristics, neural mechanisms, and treatment implications. *Psychol. Rev.*, 117(1), 210–232.<https://doi.org/10.1037/a0018113>
- Brewin, C.R. (2014). Episodic memory, perceptual memory, and their interaction: Foundations for a theory of posttraumatic stress disorder. *Psychol. Bull.*, 140(1), 69–97. <https://doi.org/10.1037/a0033722>
- Brown, R.M., & Palmer, C. (2012). Auditory–motor learning influences auditory memory for music. *Mem. Cogn.*, 40(4),567–578.<https://doi.org/10.3758/s13421-011-0177-x>
- Brown, R.M., & Palmer, C. (2013). Auditory and motor imagery modulate learning in music performance. *Front. Hum. Neurosci.*,7.<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00320>
- Bunzeck, N., Wuestenberg, T., Lutz, K., Heinze, H.J., Jancke, L. (2005). Scanning silence: Mental imagery of complex sounds. *NeuroImage*, 26(4), 1119–1127. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2005.03.013>
- Byrne, P., Becker, S., Burgess, N. (2007). Remembering the past and imagining the future: A neural model of spatial memory and imagery. *Psychol. Rev.*,114(2), 340–375.<https://doi.org/10.1037/0033-295x.114.2.340>
- Cattaneo, L., & Rizzolatti, G. (2009). The mirror neuron system. *Arch. Neurol.*, 66(5).<https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.41>
- Cho, H., Kim, J., Lee, G.C. (2012). Effects of motor imagery training on balance and gait abilities in post-stroke patients: A randomized controlled trial. *Clin. Rehabil.*, 27(8),675–680.<https://doi.org/10.1177/0269215512464702>
- Collet, C., Guillot, A., Lebon, F., MacIntyre, T., Moran, A. (2011). Measuring motor imagery using psychometric, behavioral, and psychophysiological tools. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 39(2), 85–92.

<https://doi.org/10.1097/jes.0b013e31820ac5e0>

Cumming, J., & Hall, C. (2002). Deliberate imagery practice: The development of imagery skills in competitive athletes. *J. Sports Sci.*, *20*(2), 137–145. <https://doi.org/10.1080/026404102317200846>

Davachi, L. (2006). Item, context and relational episodic encoding in humans. *Curr. Opin. Neurobiol.*, *16*(6), 693–700. <https://doi.org/10.1016/j.conb.2006.10.012>

Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D., Baverel, G. (1993). Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *J. Physiol.*, *461*(1), 549–563. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1993.sp019528>

Decety, J. (1996a). Do imagined and executed actions share the same neural substrate? *Cogn. Brain Res.*, *3*(2), 87–93. [https://doi.org/10.1016/0926-6410\(95\)00033-x](https://doi.org/10.1016/0926-6410(95)00033-x)

Decety, J. (1996b). The neurophysiological basis of motor imagery. *Behav. Brain Res.*, *77*(1–2), 45–52. [https://doi.org/10.1016/0166-4328\(95\)00225-1](https://doi.org/10.1016/0166-4328(95)00225-1)

Dijkstra, N., Zeidman, P., Ondobaka, S., van Gerven, M.A.J., Friston, K. (2017). Distinct top-down and bottom-up brain connectivity during visual perception and imagery. *Sci. Rep.*, *7*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-05888-8>

Driskell, J.E., Copper, C., Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *J. Appl. Psychol.*, *79*(4), 481–492. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.79.4.481>

Eichenbaum, H. (2013a). Memory on time. *Trends Cogn. Sci.*, *17*(2), 81–88.

<https://doi.org/10.1016/j.tics.2012.12.007>

Eichenbaum, H. (2013b). Hippocampus: Remembering the choices. *Neuron*, *77*(6), 999–1001. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2013.02.034>

Fadiga, L., Fogassi, L., Pavesi, G., Rizzolatti, G. (1995). Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *J. Neurophysiol.*, *73*(6), 2608–2611. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.73.6.2608>

Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., et al. (1998). Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: A magnetic stimulation study. *Neuropsychologia*, *37*(2), 147–158. [https://doi.org/10.1016/s0028-3932\(98\)00089-x](https://doi.org/10.1016/s0028-3932(98)00089-x)

Filimon, F., Nelson, J.D., Hagler, D.J., Sereno, M.I. (2007). Human cortical representations for reaching: Mirror neurons for execution, observation, and imagery. *NeuroImage*, *37*(4), 1315–1328. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2007.06.008>

Finks, R.A., Pinker, S., Farah, M.J. (1989). Reinterpreting visual patterns in mental imagery. *Cogn. Sci.*, *13*(1), 51–78. https://doi.org/10.1207/s15516709cog1301_2

Foa, E.B., Steketee, G., Turner, R.M., Fischer, S.C. (1980). Effects of imaginal exposure to feared disasters in obsessive-compulsive checkers. *Behav. Res. Ther.*, *18*(5), 449–455. [https://doi.org/10.1016/0005-7967\(80\)90010-8](https://doi.org/10.1016/0005-7967(80)90010-8)

Gaesser, B., & Schacter, D.L. (2014). Episodic simulation and episodic memory can increase intentions to help others. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, *111*(12),

4415–4420.<https://doi.org/10.1073/pnas.1402461111>

Gene-Cos, N. (2006). Post-Traumatic Stress Disorder: The Management of PTSD in Adults and Children in Primary and Secondary Care. National Collaborating Centre for Mental Health. London & Leicester: Gaskell & The British Psychological Society, 2005, pp.168 ISBN: 190467125. *Psychiatr. Bull*, 30(9), 357–357.<https://doi.org/10.1192/pb.30.9.357-a>

Hales, S.A., Deeproose, C., Goodwin, G.M., Holmes, E.A. (2011). Cognitions in bipolar affective disorder and unipolar depression: Imagining suicide. *Bipolar Disord.*, 13(7-8), 651–661.<https://doi.org/10.1111/j.1399-5618.2011.00954.x>

Halpern, A.R. (1999). When that tune runs through your head: A PET investigation of auditory imagery for familiar melodies. *Cereb. Cortex*, 9(7), 697–704. <https://doi.org/10.1093/cercor/9.7.697>

Hardwick, R.M., Caspers, S., Eickhoff, S.B., Swinnen, S.P. (2018). Neural correlates of action: Comparing meta-analyses of imagery, observation, and execution. *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 94,31–44.<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2018.08.003>

Hardy, L., & Callow, N. (1999). Efficacy of external and internal visual imagery perspectives for the enhancement of performance on tasks in which form is important. *J. Sport Exerc. Psychol*, 21(2), 95–112.<https://doi.org/10.1123/jsep.21.2.95>

Hassabis, D., Kumaran, D., Maguire, E.A. (2007). Using imagination to understand the neural basis of episodic memory. *J.*

Neurosci., 27(52), 14365–14374. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.4549-07.2007>

Helene, A.F., & Xavier, G.F. (2003). A construção da atenção a partir da memória. *Rev. Bras. Psiquiatr.*, 25(suppl 2),12–20.<https://doi.org/10.1590/s1516-44462003000600004>

Helene, A.F. (2006). *Aquisição e uso de memória implícita* [Universidade de São Paulo, Agência USP de Gestão da Informação Acadêmica (AGUIA)]. <http://dx.doi.org/10.11606/t.41.2006.tde-23082007-152334>

Helene, A.F., & Xavier, G.F. (2006). Working memory and acquisition of implicit knowledge by imagery training, without actual task performance. *Neuroscience*, 139(1),401–413.<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.008>

Heremans, E., Helsen, W.F., De Poel, H.J., Alaerts, K., Meyns, P., et al. (2009). Facilitation of motor imagery through movement-related cueing. *Brain Res.*, 1278,50–58.<https://doi.org/10.1016/j.brainres.2009.04.041>

Herholz, S.C., Halpern, A.R., Zatorre, R.J. (2012). Neuronal correlates of perception, imagery, and memory for familiar tunes. *J. Cogn. Neurosci.*, 24(6), 1382–1397. https://doi.org/10.1162/jocn_a_00216

Höllinger, P., Beisteiner, R., Lang, W., Lindinger, G., Berthoz, A. (1999). Mental representations of movements. Brain potentials associated with imagination of eye movements. *Clin. Neurophysiol.*, 110(5),799–805.[https://doi.org/10.1016/s1388-2457\(98\)00042-x](https://doi.org/10.1016/s1388-2457(98)00042-x)

Holmes, E.A., Arntz, A., Smucker, M.R. (2007). Imagery rescripting in cognitive

- behaviour therapy: Images, treatment techniques and outcomes. *J. Behav. Ther. Exp. Psychiatry*, 38(4), 297–305. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2007.10.007>
- Holmes, E.A., & Mathews, A. (2010). Mental imagery in emotion and emotional disorders. *Clin. Psychol. Rev.*, 30(3), 349–362. <https://doi.org/10.1016/j.cpr.2010.01.001>
- Hubbard, T.L. (2010). Auditory imagery: Empirical findings. *Psychol. Bull.*, 136(2), 302–329. <https://doi.org/10.1037/a0018436>
- Intons-Peterson, M.J. (2014). Auditory imagery. *Psychol. Press*. <http://dx.doi.org/10.4324/9781315807621>
- Ishai, A., & Sagi, D. (1995). Common mechanisms of visual imagery and perception. *Science*, 268(5218), 1772–1774. <https://doi.org/10.1126/science.7792605>
- Ishai, A., Ungerleider, L.G., Haxby, J.V. (2000). Distributed neural systems for the generation of visual images. *Neuron*, 28(3), 979–990. [https://doi.org/10.1016/s0896-6273\(00\)00168-9](https://doi.org/10.1016/s0896-6273(00)00168-9)
- Jackson, P.L., Lafleur, M.F., Malouin, F., Richards, C.L., Doyon, J. (2003). Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *NeuroImage*, 20(2), 1171–1180. [https://doi.org/10.1016/s1053-8119\(03\)00369-0](https://doi.org/10.1016/s1053-8119(03)00369-0)
- Janata, P. (2012). Acuity of mental representations of pitch. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1252(1), 214–221. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06441.x>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, 14(1), S103–S109. <https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Kandel, E.R., & Squire, L.R. (2000). Neuroscience: Breaking down scientific barriers to the study of brain and mind. *Science*, 290(5494), 1113–1120. <https://doi.org/10.1126/science.290.5494.1113>
- Keller, P.E., & Appel, M. (2010). Individual differences, auditory imagery, and the coordination of body movements and sounds in musical ensembles. *Music Percept.*, 28(1), 27–46. <https://doi.org/10.1525/mp.2010.28.1.27>
- Keogh, R., & Pearson, J. (2014). The sensory strength of voluntary visual imagery predicts visual working memory capacity. *J. Vis.*, 14(12), 7–7. <https://doi.org/10.1167/14.12.7>
- Keogh, R., & Pearson, J. (2017). The perceptual and phenomenal capacity of mental imagery. *Cognition*, 162, 124–132. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2017.02.004>
- Kim, S., Borst, G., Thompson, W.L., Hopkins, R.O., Kosslyn, S.M., et al. (2013). Sparing of spatial mental imagery in patients with hippocampal lesions. *Learn. Mem.*, 20(11), 657–663. <https://doi.org/10.1101/lm.031633.113>
- Kosslyn, S.M., Thompson, W.L., Klm, I.J., Alpert, N.M. (1995). Topographical representations of mental images in primary visual cortex. *Nature*, 378(6556), 496–498. <https://doi.org/10.1038/378496a0>
- Kosslyn, S.M., Ganis, G., Thompson, W.L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nat. Rev. Neurosci.*, 2(9), 635–642. <https://doi.org/10.1038/35090055>

- Kunda, M. (2018). Visual mental imagery: A view from artificial intelligence. *Cortex*, 105,155–172.<https://doi.org/10.1016/j.cortex.2018.01.022>
- Leisman, G., Moustafa, A., Shafir, T. (2016). Thinking, walking, talking: Integratory motor and cognitive brain function. *Front. Public Health*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00094>
- Lent, R. (2010). *Cem bilhões de neurônios: Conceitos fundamentais de neurociência* (2nd ed.). Atheneu.
- Lewis, D.E., O'Reilly, M.J., Khuu, S.K., Pearson, J. (2013). Conditioning the mind's eye. *Clin. Psychol. Sci.*, 1(4), 390–400.<https://doi.org/10.1177/2167702613484716>
- Lima, C.F., Lavan, N., Evans, S., Agnew, Z., Halpern, A.R., et al. (2015). Feel the noise: Relating individual differences in auditory imagery to the structure and function of sensorimotor systems. *Cereb. Cortex*,25(11),4638–4650.<https://doi.org/10.1093/cercor/bhv134>
- Madan, C.R., & Singhal, A. (2012). Motor imagery and higher-level cognition: Four hurdles before research can sprint forward. *Cogn. Process.*, 13(3), 211–229. <https://doi.org/10.1007/s10339-012-0438-z>
- Maillet, A., Thobois, S., Fraix, V., Redouté, J., Le Bars, D., et al. (2014). Neural substrates of levodopa-responsive gait disorders and freezing in advanced Parkinson's disease: A kinesthetic imagery approach. *Hum. Brain Mapp.*,36(3),959–980. <https://doi.org/10.1002/hbm.22679>
- Maring, J.R. (1990). Effects of mental practice on rate of skill acquisition. *Phys. Ther.*,70(3),165–172.<https://doi.org/10.1093/ptj/70.3.165>
- Mathews, A., Ridgeway, V., Holmes, E.A. (2013). Feels like the real thing: Imagery is both more realistic and emotional than verbal thought. *Cogn. Emot.*, 27(2), 217–229.<https://doi.org/10.1080/02699931.2012.698252>
- Mattar, A.A.G., & Gribble, P.L. (2005). Motor learning by observing. *Neuron*, 46(1),153–160.<https://doi.org/10.1016/j.neuron.2005.02.009>
- Matthews, N.L., Collins, K.P., Thakkar, K.N., Park, S. (2013). Visuospatial imagery and working memory in schizophrenia. *Cogn. Neuropsychiatry*, 19(1),17–35.<https://doi.org/10.1080/13546805.2013.779577>
- McNorgan, C. (2012). A meta-analytic review of multisensory imagery identifies the neural correlates of modality-specific and modality-general imagery. *Front. Hum. Neurosci.*,6.<https://doi.org/10.3389/fnhum.2012.00285>
- Mohr, H.M., Linder, N.S., Dennis, H., Sireteanu, R. (2011). Orientation-Specific aftereffects to mentally generated lines. *Perception*,40(3),272–290.<https://doi.org/10.1068/p6781>
- Munzert, J., Lorey, B., Zentgraf, K. (2009). Cognitive motor processes: The role of motor imagery in the study of motor representations. *Brain Res. Rev.*, 60(2), 306–326.<https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2008.12.024>
- Naselaris, T., Olman, C.A., Stansbury, D.E., Ugurbil, K., Gallant, J.L. (2015). A voxel-wise encoding model for early visual areas decodes mental images of remembered scenes. *NeuroImage*, 105, 215–228.<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2014.10.018>

- Paivio, A. (1971). Imagery and deep structure in the recall of English nominalizations. *J. Verbal Learn. Verbal Behav.*, *10*(1), 1–12. [https://doi.org/10.1016/s0022-5371\(71\)80086-5](https://doi.org/10.1016/s0022-5371(71)80086-5)
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., Schieppati, M. (2002). Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behav. Brain Res.*, *134*(1–2), 209–215. [https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(02\)00030-x](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(02)00030-x)
- Pavão, R., Savietto, J.P., Sato, J.R., Xavier, G.F., Helene, A.F. (2016). On sequence learning models: Open-loop control not strictly guided by Hick's law. *Sci.Rep.*, *6*(1). <https://doi.org/10.1038/srep23018>
- Pearson, J., Naselaris, T., Holmes, E.A., Kosslyn, S.M. (2015). Mental imagery: Functional mechanisms and clinical applications. *Trends Cogn. Sci.*, *19*(10), 590–602. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.08.003>
- Pearson, J., & Westbrook, F. (2015). Phantom perception: Voluntary and involuntary nonretinal vision. *Trends Cogn. Sci.*, *19*(5), 278–284. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2015.03.004>
- Pearson, J. (2019). The human imagination: The cognitive neuroscience of visual mental imagery. *Nat. Rev. Neurosci.*, *20*(10), 624–634. <https://doi.org/10.1038/s41583-019-0202-9>
- Peterson, D.S., Pickett, K.A., Earhart, G.M. (2012). Effects of Levodopa on vividness of motor imagery in Parkinson disease. *J. Parkinson's Dis.*, *2*(2), 127–133. <https://doi.org/10.3233/jpd-2012-12077>
- Repp, B.H. (2001). Effects of music perception and imagery on sensorimotor synchronization with complex timing patterns. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, *930*(1), 409–411. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2001.tb05754.x>
- Rizzolatti, G., Fadiga, L., Matelli, M., Bettinardi, V., Paulesu, E., et al. (1996). Localization of grasp representations in humans by PET: 1. Observation versus execution. *Exp. Brain Res.*, *111*(2). <https://doi.org/10.1007/bf00227301>
- Rizzolatti, G., Fogassi, L., Gallese, V. (2001). Neurophysiological mechanisms underlying the understanding and imitation of action. *Nat. Rev. Neurosci.*, *2*(9), 661–670. <https://doi.org/10.1038/35090060>
- Schacter, D.L., Chiu, C.yP., Ochsner, K.N. (1993). Implicit memory: A selective review. *Ann. Rev. Neurosci.*, *16*(1), 159–182. <https://doi.org/10.1146/annurev.ne.16.030193.001111>
- Schaefer, R.S. (2014). Images of time: Temporal aspects of auditory and movement imagination. *Front. Psychol.*, *5*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00877>
- Schlegel, A., Kohler, P.J., Fogelson, S.V., Alexander, P., Konuthula, D., et al. (2013). Network structure and dynamics of the mental workspace. *Proc. Natl. Acad. Sci.*, *110*(40), 16277–16282. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311149110>
- Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., et al. (2011). Best practice for motor imagery: A systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Med.*, *9*(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-75>

Scoville, W.B., & Milner, B. (1957). LOSS OF RECENT MEMORY AFTER BILATERAL HIPPOCAMPAL LESIONS. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*, 20(1), 11–21. <https://doi.org/10.1136/jnnp.20.1.11>

Shine, J.M., Keogh, R., O'Callaghan, C., Muller, A.J., Lewis, S.J.G., et al. (2015). Imagine that: Elevated sensory strength of mental imagery in individuals with Parkinson's disease and visual hallucinations. *Proc. R. Soc. Lond. Ser. B, Biol. Sci.*, 282(1798), 20142047. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.2047>

Slotnick, S.D., Thompson, W.L., Kosslyn, S.M. (2005). Visual mental imagery induces retinotopically organized activation of early visual areas. *Cereb. Cortex*, 15(10), 1570–1583. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhi035>

Sobierajewicz, J., Przekoracka-Krawczyk, A., Jaśkowski, W., Verwey, W.B., van der Lubbe, R. (2016). The influence of motor imagery on the learning of a fine hand motor skill. *Exp. Brain Res.*, 235(1), 305–320. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4794-2>

Song, C., Schwarzkopf, D.S., Kanai, R., Rees, G. (2015). Neural population tuning links visual cortical anatomy to human visual perception. *Neuron*, 85(3), 641–656. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2014.12.041>

Squire, L.R., & Zola-Morgan, S. (1991). The medial temporal lobe memory system. *Science*, 253(5026), 1380–1386. <https://doi.org/10.1126/science.1896849>

Squire, L.R., & Zola, S.M. (1998). Episodic memory, semantic memory, and amnesia. *Hippocampus*, 8(3), 205–211. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-1063\(1998\)8:3<205::ai](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-1063(1998)8:3<205::ai)

d-hipo3>3.0.co;2-i

Tamir, R., Dickstein, R., Huberman, M. (2007). Integration of motor imagery and physical practice in group treatment applied to subjects with Parkinson's disease. *Neurorehabilitation Neural Repair*, 21(1), 68–75. <https://doi.org/10.1177/1545968306292608>

Tartaglia, E.M., Bamert, L., Mast, F.W., Herzog, M.H. (2009). Human perceptual learning by mental imagery. *Curr. Biol.*, 19(24), 2081–2085. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2009.10.060>

Thirion, B., Duchesnay, E., Hubbard, E., Dubois, J., Poline, J.B., et al. (2006). Inverse retinotopy: Inferring the visual content of images from brain activation patterns. *NeuroImage*, 33(4), 1104–1116. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2006.06.062>

White, A., & Hardy, L. (1995). Use of different imagery perspectives on the learning and performance of different motor skills. *Br. J. Psychol.*, 86(2), 169–180. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1995.tb02554.x>

Williams, S.E., Cumming, J., Ntoumanis, N., Nordin-Bates, S.M., Ramsey, R., et al. (2012). Further validation and development of the movement imagery questionnaire. *J. Sport Exerc. Psychol.*, 34(5), 621–646. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.5.621>

Williams, S.E., Guillot, A., Di Rienzo, F., Cumming, J. (2015). Comparing self-report and mental chronometry measures of motor imagery ability. *E. J. SportSci.*, 15(8), 703–711. <https://doi.org/10.1080/17461391.2015.1051133>

Williams, S.E. (2019). Comparing

movement imagery and action observation as techniques to increase imagery ability. *Psychol. Sport Exerc.*, *44*, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2019.05.005>

Winawer, J., Huk, A.C., Boroditsky, L. (2010). A motion aftereffect from visual imagery of motion. *Cognition*, *114*(2), 276–284. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2009.09.010>

Wohldmann, E.L., Healy, A.F., Bourne, L.E. (2007). Pushing the limits of imagination: Mental practice for learning sequences. *J. Exp. Psychol. Learn. Mem. Cogn.*, *33*(1), 254–261. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.33.1.254>

Yu, Q.H., Fu, A.S.N., Kho, A., Li, J., Sun,

X.H., et al. (2016). Imagery perspective among young athletes: Differentiation between external and internal visual imagery. *J. Sport Health Sci.*, *5*(2), 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.12.008>

Zatorre, R.J., & Halpern, A.R. (1993). Effect of unilateral temporal-lobe excision on perception and imagery of songs. *Neuropsychologia*, *31*(3), 221–232. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(93\)90086-f](https://doi.org/10.1016/0028-3932(93)90086-f)

Zatorre, R.J., Halpern, A.R., Bouffard, M. (2010). Mental reversal of imagined melodies: A role for the posterior parietal cortex. *J. Cogn. Neurosci.*, *22*(4), 775–789. <https://doi.org/10.1162/jocn.2009.21239>

Capítulo II. Experimento 1

Estrutura probabilística e análise comportamental na execução motora e simulação mental

1. Introdução

O ser humano pode aprender diversas sequências de estímulos estruturados em sua rotina diária, como nos esportes, na dança e na escrita. Duarte e colaboradores (2019) introduziram uma nova estrutura probabilística que aborda a conjectura de que o cérebro aprende regularidades estatísticas a partir de sequências de estímulos conduzidos por uma árvore de contexto. O conjunto de contextos define a partição do conjunto de todas as sequências anteriores possíveis representadas por uma árvore de contexto. Para caracterizar como a sequência de unidades é gerada, uma probabilidade de transição gerenciando a escolha da próxima unidade é associada a cada contexto gerando assim uma árvore de contexto (Hérmendez et al., 2021). Dessa forma, é possível supor que o aprendizado implícito das sequências seja adquirido por meio do treinamento dos contextos e suas probabilidades.

Existem diversas técnicas capazes de induzir o aprendizado implícito de sequências, entre elas está a prática mental. Treino imaginativo corresponde a um tipo de prática mental que atua tanto na tarefa em si quanto na aprendizagem motora, levando a uma melhora nas habilidades motoras devido à geração de aspectos visuais e cinestésicos do movimento (Helene & Xavier, 2006; Schuster et al., 2011). As áreas sensório-motoras são ativadas no treino imaginativo de maneira semelhante com a execução motora (Jeannerod, 2001), além de apresentar semelhanças entre o tempo necessário para completar um movimento imaginado e o tempo necessário para a execução real (Papaxanthis et al., 2002), e efeitos de menor intensidade após a ação motora no treino imaginativo motor quando comparado a execução real (Driskell et al., 1994).

A essência da prática mental é induzir uma experiência subjetiva, sem a entrada de estímulo externo ou da realização da ação em si (Tian & Poeppel, 2010). Um dos elementos que distingue o treinamento imaginativo ou simulação mental da prática real motora envolve o fato de, nesta última, a ação motora envolve não apenas a execução da ação, mas uma miríade de aspectos envolvidos com esta, entre os quais, um sistema de geração de avaliação das consequências somatossensoriais estimadas desta ação, internamente a partir da cópia eferente de comandos motores planejados (Desmurget & Sirigu, 2009). As cópias eferentes motoras envolvem informações sobre a execução motora de uma ação e suas consequências sensoriais, juntamente com sua localização (entrada proprioceptiva aferente), e está envolvida diretamente no processamento de erros, controle motor, execução motora, percepção visual e auditiva, postura e percepção tátil (Stock, Wascher & Beste, 2013).

No presente experimento propomos uma tarefa de tempo de reação serial seguindo uma estrutura de árvore de contexto por meio de execução motora e de simulação mental. Como hipótese espera-se que a simulação mental, por ter uma ausência de feedback sensorial e motor, assim não apresentando efeitos oriundos da execução motora, apresenta consequências sensoriais estimadas envolvidas no desempenho motor da tarefa proposta. Com isso, intentamos avaliar o impacto da ausência dos efeitos da execução das ações motoras presentes na simulação mental. De maneira específica, se poderia pensar que a ausência da possibilidade de haver um mecanismo de feedback sensorial e motor poderia alterar o impacto da vivência imaginada em comparação àquela real. E em relação a presença de uma estrutura probabilística para o aprendizado dos contextos que estão presentes em uma dada sequência parecem se apresentar diferentemente em situações reais e simuladas mentalmente, devido a uma esperada correção contínua do plano motor induzido por um efeito do passado imediato de eventos que compõem a sequência.

2. Materiais e métodos

2.1. Arranjo experimental

Voluntários

O experimento envolveu uma análise comportamental de um conjunto de vinte voluntários saudáveis que foram divididos em dois grupos: grupo de execução motora (n=10) e grupo de simulação mental (n=10). Os voluntários (11 homens e 9 mulheres) eram estudantes de graduação e pós-graduação da Universidade de São Paulo, campus de São Paulo. Uma parte da coleta de dados foi realizada no Laboratório de Ciência da Cognição no Departamento de Fisiologia do Instituto de Biociências da USP-SP, e devido ao início da pandemia da COVID-19 com o fechamento do *campus de São Paulo* da USP, a parte final da coleta foi realizada em ambiente residencial do experimentador tendo sido feito o deslocamento de todo o aparato experimental para o mesmo seguindo todos os protocolos sanitários impostos pelos governos estadual e federal.

Aspectos éticos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa - Seres Humanos (CEP) do Instituto de Biociências da USP (IB-USP), número CAAE 15274718.8.0000.5464. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) após obterem o conhecimento necessário acerca das instruções e procedimentos a serem realizados ao longo do experimento (apêndice A).

Crítérios de inclusão e exclusão

Os critérios de inclusão foram: indivíduos maiores de 18 anos; assinatura do TCLE; visão normal ou corrigida; dominância manual à direita determinada por pontuação superior a 50 pelo Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo

(*Edinburgh Handedness Inventory*) (Oldfield, 1971) (anexo B); capacidade de realizar tarefas imaginativas de acordo com a versão brasileira do Questionário de Imagética Motora Cinestésica e Visual (*Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire - KVIQ-10*) (Demanboro et al., 2018) (anexo C); e indivíduos saudáveis.

Os critérios de exclusão foram: presença de disfunções neurológicas, ortopédicas, vasculares ou musculares que afetam o membro superior, e fraturas da coluna vertebral.

2.2. Avaliações funcionais

Primeiramente, antes do início do experimento, foram realizadas as avaliações funcionais que consistiam em:

- Ficha do Participante: ficha contendo dados pessoais do participante (nome completo, idade, gênero e experiência prévia em tocar instrumentos musicais de qualquer tipo).
- Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (*Edinburgh Handedness Inventory*): avaliação de dominância lateral, no qual é possível determinar se o indivíduo era destro, canhoto ou ambidestro em atividades de vida diária (Oldfield, 1971).
- Questionário de Imagética Motora Cinestésica e Visual (*Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire - KVIQ-10*): avaliação da imagem visual e cinestésica através da versão brasileira do KVIQ10-P que tem como objetivo determinar o grau com que o indivíduo é capaz de visualizar e sentir movimentos imaginários (Demanboro et al., 2018). Foi utilizada a versão simplificada (ou curta) composta por dez itens: cinco movimentos da escala visual (KVIQP-10V) e cinco movimentos da escala cinestésica (KVIQP-10C).

2.3. Estrutura da sequência de estímulos da tarefa

2.3.1. Estrutura geral

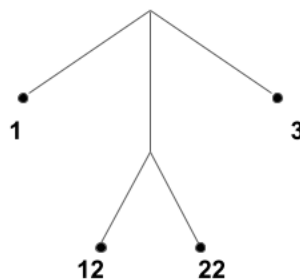
O experimento consistiu em uma apresentação de estímulos auditivos gerados pelo *Psychtoolbox-3 (Psychophysics Toolbox Version 3 - PTB-3)*, versão 3.0.17 Beta, software GNU Octave. Os áudios dos estímulos (um, dois e três) foram gravados com microfone convencional e tiveram o volume regulado individualmente antes do início da tarefa, de maneira agradável e confortável a cada participante.

O experimento foi caracterizado como uma tarefa de toque de dedos (*“finger tapping task”*) que permitiu a coleta dos Tempos de Reação Serial, sendo as respostas de interesse o tempo de resposta para cada tentativa correta.

O experimento seguiu uma estrutura de eventos sequenciais baseada em uma árvore de contexto, a qual determina a probabilidade de ocorrência dos eventos. Seguindo o padrão utilizado em Uscapi (2020), a apresentação dos estímulos auditivos se dá de acordo com uma sequência gerada pela árvore com contexto $\tau = \{0,01,11,2\}$, a sequência é gerada pelo par (τ,p) , onde p é uma família de probabilidades associada a τ . Dessa forma, cada probabilidade depende de cada elemento de τ . Assim, estas probabilidades geram sequências da forma $\dots 011012012012011011012012012011011012\dots$. Os eventos são definidos em Uscapi (2020) como 0, 1 e 2, e no experimento foram identificados como 1, 2 e 3, respectivamente, de maneira a tornar mais adequado para a tarefa aqui empregada. Então, a sequência passa a ser gerada pela árvore com contexto $\tau = \{1,12,22,3\}$ e as probabilidades que geram a sequência passam a ser: $\dots 122123123123123122122123123123122122123\dots$. A matriz de probabilidades foi dada por:

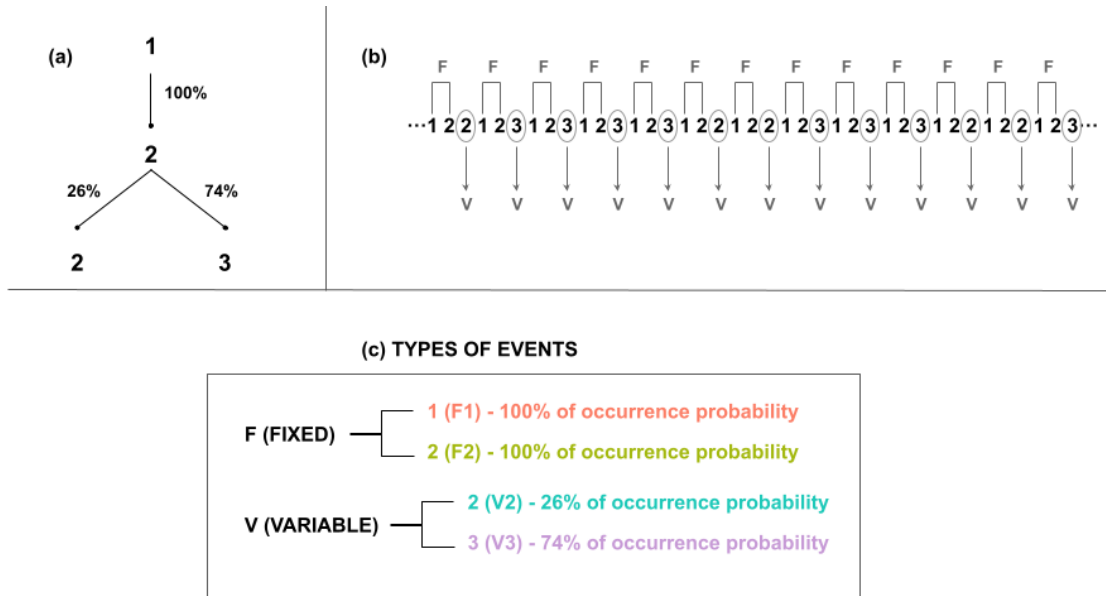
		1		2		3
		1	0		1	0
p =		12	0		0.26	0.74
		22	1		0	0
		3	1		0	0

E a árvore de contexto pode ser representada como:



Sendo o teclado convencional utilizado para captar a resposta, as teclas utilizadas foram: seta para a esquerda equivalente ao 1, seta para baixo ao 2 e seta para a direita ao 3. Cada evento desta sequência possui uma probabilidade de ocorrência descrita de maneira mais simplificada conforme o esquema abaixo (figura 2.1a), assim como podem ser descritos em função de serem eventos fixos da estrutura (100% chance de ocorrência) ou variáveis (sendo dois possíveis eventos, 2 ou 3, com chances de 26% ou 74%, figuras 2.1b e 2.1c).

Figura 2.1 - Probabilidades de ocorrência de cada evento da sequência gerada ao longo do experimento definidas na árvore de contexto.



(a) Representação simplificada da ocorrência dos eventos de 1, 2 ou 3 e suas probabilidades de acordo com a árvore de contexto, em que os eventos “1” e “2” com probabilidades de 100% de ocorrência são eventos fixos na sequência (posteriormente chamados de F1 e F2); enquanto a ocorrência do evento “2” (26% de probabilidade) ou do evento “3” (74% de probabilidade) são eventos variáveis na sequência (V2 e V3). (b) Probabilidades de ocorrência dos eventos fixos (F1 e F2) e variáveis (V2 e V3) em um intervalo da sequência utilizada; (c) Tipos de eventos com as probabilidades de ocorrência de cada um. FONTE: própria.

2.3.2. Fase pré-teste ou de familiarização

Os voluntários foram direcionados a uma sala silenciosa e se sentaram em uma cadeira confortável à frente de uma tela de computador. Instruções iniciais foram dadas aos participantes, e as dúvidas foram esclarecidas diretamente com o pesquisador. Cada tentativa consistiu na apresentação de estímulos auditivos de um número (1, 2 ou 3); cada número apresentado correspondia a um dedo da mão direita que deveria apertar a tecla referente no teclado o mais rápido possível (número 1 referente ao dedo indicador, número 2 ao dedo médio e número 3 ao anelar). Se o voluntário antecipasse a tentativa, pressionando a tecla antes de ouvir

o áudio sonoro, um “beep” soava, indicando que esta tentativa foi perdida, passando assim para a próxima. Caso contrário, ocorria a apresentação do estímulo auditivo, sendo instruído ao voluntário responder ao estímulo após o término do mesmo. Assim, o tempo de reação de cada tentativa teve início ao final de cada áudio sonoro, encerrando com a resposta do indivíduo. Este procedimento consistiu em seis tentativas, sendo os números apresentados numa sequência aleatória, havendo dois toques para cada dedo. Esta fase foi apenas para o conhecimento da tarefa em si.

2.3.3. Fase de teste

A fase de teste, do experimento em si, contou com a apresentação de 750 estímulos auditivos divididos em 5 blocos experimentais contendo 150 tentativas em cada. A quantidade de cada evento ao longo da sequência de estímulos pode ser visualizada abaixo (tabela 2.1).

Tabela 2.1 - Quantidade de cada evento em cada bloco experimental da sequência de estímulos auditivos.

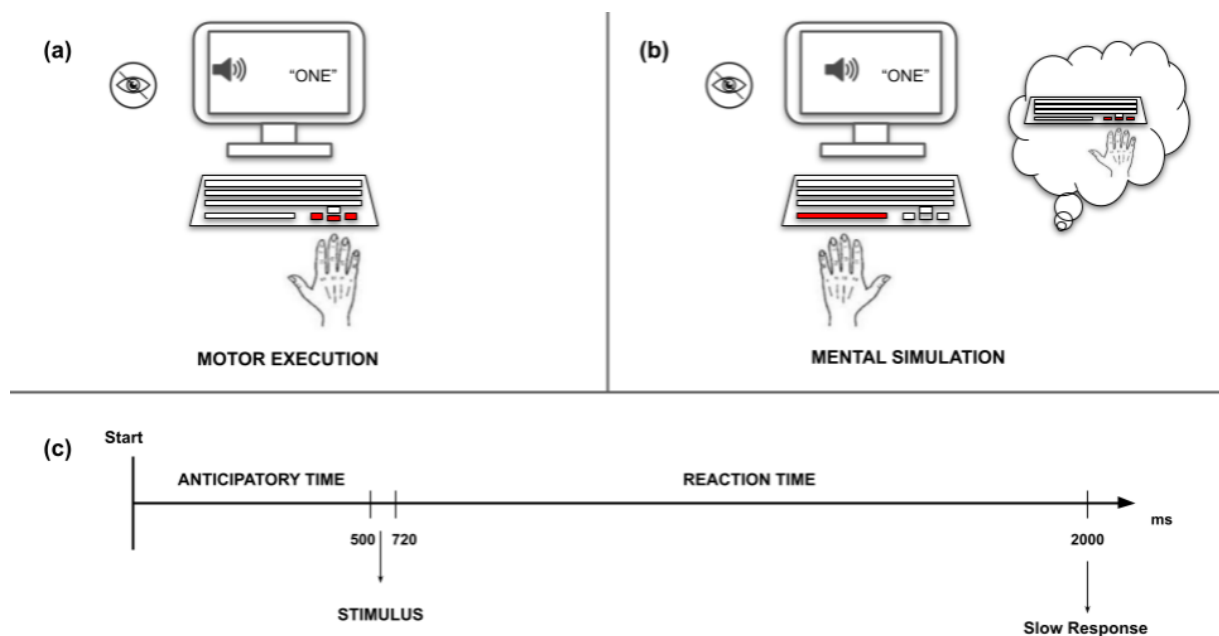
	B1	B2	B3	B4	B5	Total
F1	50	50	50	50	50	250
F2	50	50	50	50	50	250
V2	16	7	13	14	15	65
V3	34	43	37	36	35	185

F1 = evento fixo 1; F2 = evento fixo 2; V2 = evento variável 2; V3 = evento variável 3; B1 = primeiro bloco experimental; B2 = segundo bloco experimental; B3 = terceiro bloco experimental; B4 = quarto bloco experimental; B5 = quinto bloco experimental.

Os estímulos gerados para todos os grupos foram auditivos. As instruções foram de manter os olhos fechados durante os blocos experimentais, que só deveriam ser abertos ao final de cada bloco, identificado com dois “beeps” sonoros. Os indivíduos, ao término da apresentação do estímulo auditivo (1, 2 ou 3) apresentado por uma voz controlada pelo computador, foram instruídos a apertar, o

mais rápido possível, a tecla correta com o dedo correspondente da mão direita, para o grupo de execução motora. Enquanto para o grupo de simulação mental, a instrução foi de imaginarem a tarefa de toque de dedos o mais rápido possível (perspectiva em primeira pessoa, egocêntrica), e ao final da imaginação, deveriam pressionar a tecla “barra de espaços” com o dedo indicador da mão esquerda, sinalizando o fim daquela tentativa (figura 2.2).

Figura 2.2 - Representação esquemática de cada tentativa nas condições de Execução Motora e de Simulação Mental, e setup experimental.



Representação esquemática de cada tentativa nas condições de (a) Execução Motora e de (b) Simulação Mental. (c) Setup experimental de uma tentativa contendo o tempo antecipatório (500 ms antes do estímulo); a duração média do estímulo auditivo (220 ms); o tempo de reação que depende da resposta motora do indivíduo e a duração de uma resposta considerada lenta (2000 ms). FONTE: própria.

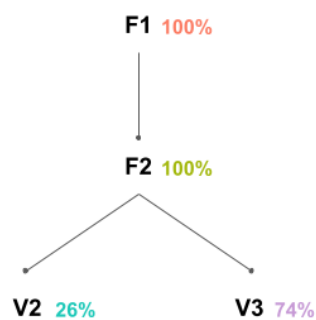
2.4. Análise estatística

Foi aplicada uma Análise de Variâncias (ANOVA) univariada GLM adequada para uma distribuição de Poisson, seguida de um teste post-hoc de Tukey para comparações múltiplas em cada grupo experimental. Todas análises foram

realizadas no SPSS Statistics versão 23 e os gráficos no RStudio versão 3.6.3, pacote “ggplot2”. Os Tempos de Reação da fase de teste (variável dependente) dos dois grupos foram comparados separadamente, tendo “Grupo” como variável entre sujeitos, e “Bloco” e “Probabilidade” como fatores intra sujeitos. Para fins de análise, apenas os valores das tentativas corretas e com tempo de reação inferior a 2s foram utilizados, sendo os demais considerados “respostas lentas”.

Análises das probabilidades fixas e variáveis foram realizadas, sendo o esquema abaixo necessário para a compreensão dos elementos fixos e variáveis da sequência do experimento (figura 2.3).

Figura 2.3 - Probabilidade de ocorrência de cada evento da sequência gerada no experimento.



Probabilidade de ocorrência de cada evento da sequência gerada no experimento com base nos elementos fixos (F1 e F2) e nos elementos variáveis (V2 e V3). FONTE: própria.

3. Resultados

3.1. Caracterização dos voluntários

A comparação entre as características demográficas e funcionais dos participantes de ambos os grupos segue abaixo na tabela 2.2.

- Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (*Edinburgh Handedness Inventory*): Dominância manual à direita é definida por pontuação > 50 na escala.

- Questionário de Imagética Motora Cinestésica e Visual (*Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire - KVIQ-10*): Foi utilizada a versão simplificada (ou curta) que é composta por dez itens (cinco movimentos da escala visual - KVIQP-10V; e cinco movimentos da escala cinestésica - KVIQP-10C); o escore varia de 10 a 50 para cada escala, com pontuações maiores indicando maior aptidão em simulação mental.

Tabela 2.2 - Características demográficas e funcionais dos participantes (n=20) contendo valores das médias e desvios padrão.

	Execução Motora	Simulação Mental	Total
Idade (anos)	27,1±4,18	26,4±4,93	26,75±4,46
Gênero	F(6); M(4)	F(5); M(5)	F(11); M (9)
Instrumento Musical	S(7); N(3)	S(3); N(7)	S(10); N(10)
Inventário de Edimburgo QL	82,73±13,75	86,51±15,3	84,62±14,29
KVIQP-10V	35,1±4,79	26,1±8,91	30,6±8,35
KVIQP-10C	32,9±6,45	25,8±6,98	29,35±7,49

F = feminino; M = masculino; S = sim; N = não; QL = quociente de lateralidade. KVIQP-10V = questionário de imagética motora visual ; KVIQP-10C = questionário de imagética motora cinestésica.

Ambos os grupos apresentaram similaridades em relação às características demográficas e funcionais. Todos os voluntários apontaram dominância manual à direita e aptidão em simulação mental.

3.2. Análises de desempenho em função das probabilidades de ocorrência dos eventos

Execução motora

A figura 2.4 abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrão contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos experimentais do grupo de execução motora.

Figura 2.4 - Desempenho do Grupo de Execução Motora em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

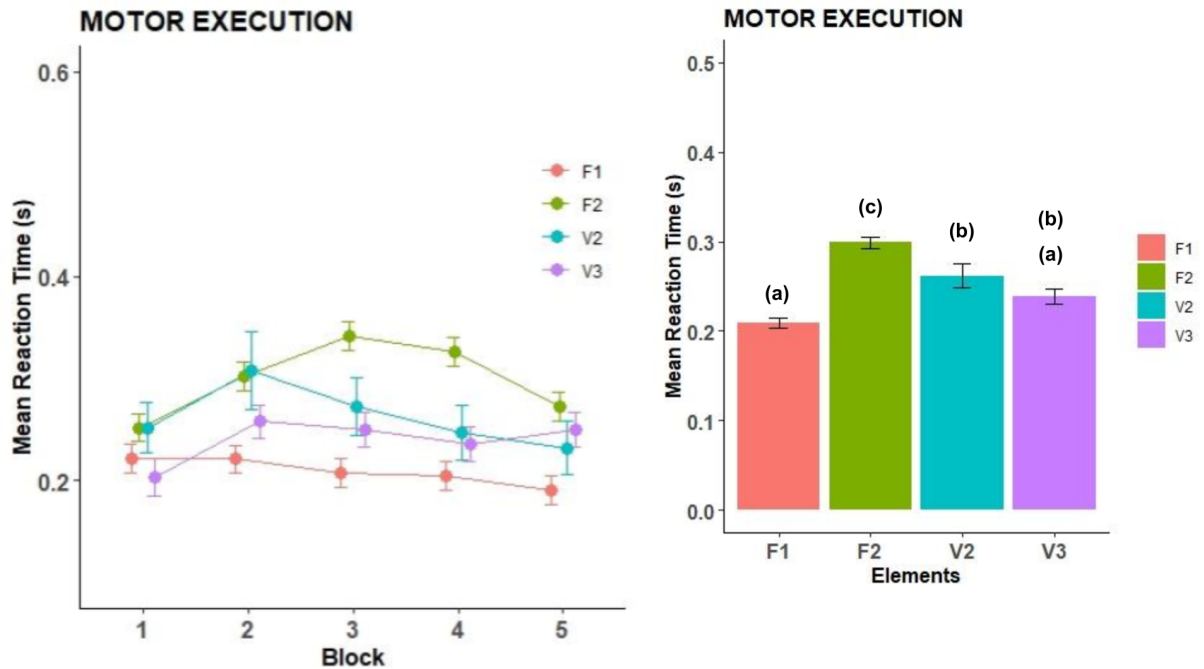


Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de execução motora (real). Gráfico de Barras: Subconjuntos homogêneos da análise de tempo de reação para $p < 0,05$. (a) subconjuntos congruentes - F1 e V3; (b) subconjuntos congruentes - V2 e V3; (c) subconjunto diferente - F2.

Na análise de GLM foram observados efeitos de Probabilidade ($F_{19,3}=33,225$ com $p < 0,001$), de Bloco ($F_{19,4}=3,220$ com $p=0,012$) e de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=1,900$ com $p=0,030$). O teste post hoc de Tukey apresentou ausência de efeito significativo ($p < 0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F2 aumentaram ligeiramente no segundo e terceiro blocos, as de V2 aumentaram no segundo bloco, as de V3 no segundo e quinto blocos, enquanto as de F1 se mantiveram baixas ao longo dos blocos. Este aumento do evento 2 pode ser devido a preparação motora que gera um efeito de expectativa acerca do evento futuro, e dessa maneira, o feedback motor pode ser utilizado como uma tática de correção do evento futuro. Já que o

elemento 2 pode ser fixo (F2) ou variável (V2) ao longo da sequência, a aprendizagem se torna mais lenta quando comparada aos outros elementos.

Simulação mental

A figura 2.5 abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrão contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos experimentais do grupo de simulação mental.

Figura 2.5 - Desempenho do Grupo de Simulação Mental em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

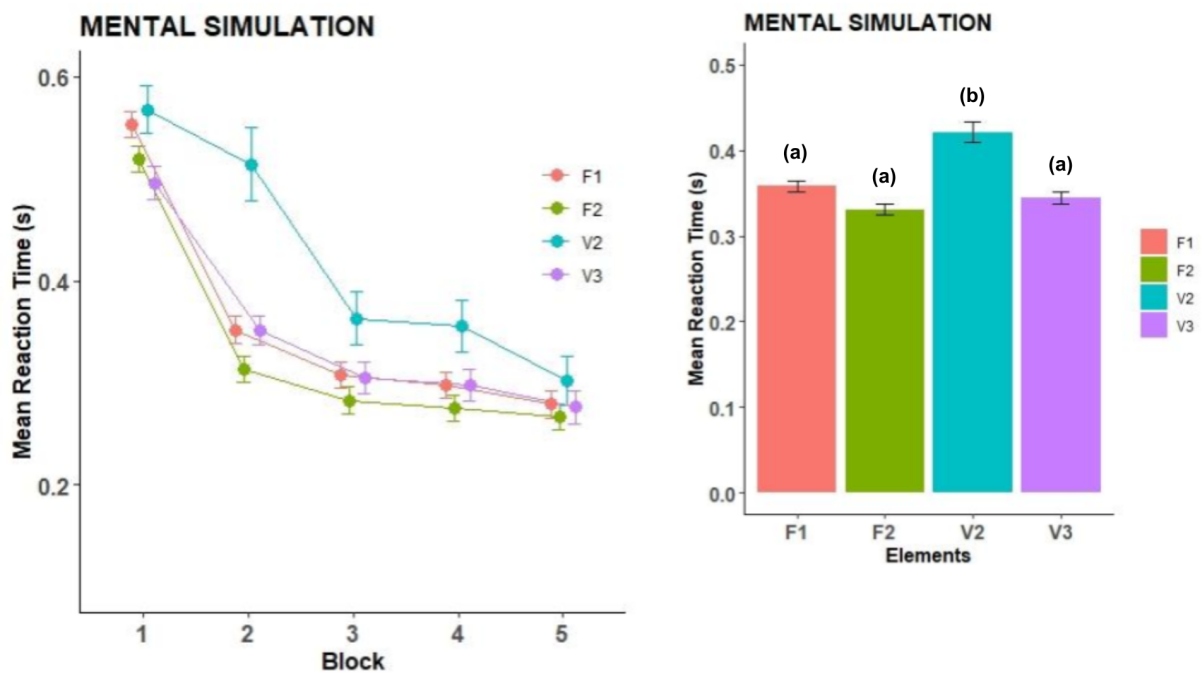


Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de simulação mental. Gráfico de Barras: Subconjuntos homogêneos da análise de tempo de reação para $p < 0,05$. (a) subconjuntos congruentes - F1, F2 e V3; (b) subconjunto diferente - V2.

Na análise de GLM foram observados efeitos de Bloco ($F_{19,4}=141,933$ com $p < 0,001$), de Probabilidade ($F_{19,3}=15,331$ com $p < 0,001$) e de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=1,653$ com $p = 0,071$). O teste post hoc de Tukey apresentou

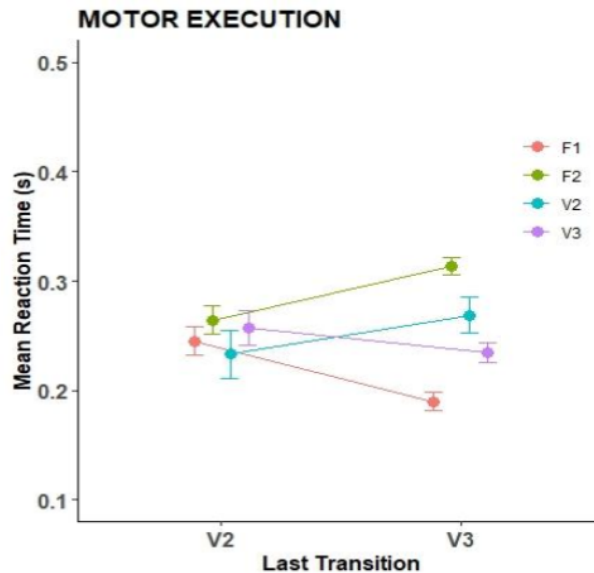
ausência de efeito significativo ($p < 0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F1, F2, V2 e V3 decaíram ao longo dos blocos, podendo ser devido a ausência dos feedback sensorial e motor, que foram observados anteriormente no grupo de execução real da tarefa, e um efeito da aquisição da prática imaginativa por treinamento repetitivo.

3.3. Análises de desempenho em função do impacto do passado imediato das ocorrências de eventos

Execução motora

O gráfico (figura 2.6) abaixo apresenta as médias do tempo de reação dos elementos de Probabilidade decorrentes da Última Transição (V2 e V3) do grupo de execução motora. Na análise de GLM foram observados efeitos de Probabilidade ($F_{7,3}=15,789$ com $p < 0,001$), de interação Probabilidade e Última Transição ($F_{7,3}=9,405$ com $p < 0,001$), mas não de Última Transição ($F_{7,1}=0,042$ com $p=0,838$). O teste post hoc de Tukey apresentou ausência de efeito significativo ($p < 0,05$) para Probabilidade. Pode-se observar que a média de F1 vindo logo após um V3 é mais baixa do que vindo após um V2. As médias de F2 e V2 após um V2 são mais baixas do que após um V3. Enquanto a média de V3 após um V3 é mais baixa do que após um V2. Os fatos de F2 e V2 serem mais lentos quando ocorrem após um V3 ou de V3 serem mais lentos após um V2 podem ser indicativos do fato de serem transições menos frequentes na sequência, no qual ocorre uma quebra da sequência dos elementos variáveis fazendo com que o indivíduo comece a planejar uma sequência, novamente, de acordo com o evento do passado, assim, levando um tempo maior de resposta.

Figura 2.6 - Desempenho do Grupo de Execução Motora em Função do Impacto do Passado das Ocorrências de Eventos da Árvore de Contexto.

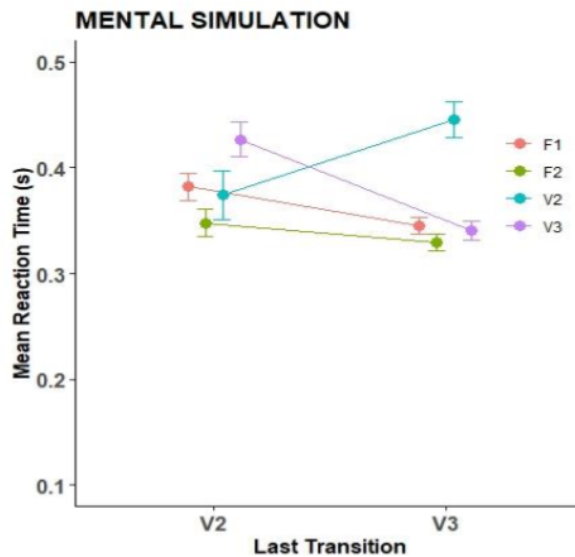


Média e erro padrão dos tempos de reação de F1, F2, V2 e V3 após as últimas transições (V2 e V3) do grupo de execução motora.

Simulação Mental

O gráfico (figura 2.7) abaixo apresenta as médias do tempo de reação dos elementos de Probabilidade e de Última Transição (V2 e V3) do grupo de simulação mental. Na análise de GLM foram observados efeitos de Probabilidade ($F_{7,3}=8,584$ com $p<0,001$) e de interação Probabilidade e Última Transição ($F_{7,3}=7,490$ com $p<0,001$), mas não de Última Transição ($F_{7,1}=2,880$ com $p=0,090$). O teste post hoc de Tukey apresentou ausência de efeito significativo ($p<0,05$) para Probabilidade. Pode-se observar que a média do tempo de reação de V2 após um V3 é mais alta que a dos outros elementos da sequência, que são maiores após a ocorrência de um V2. O fato do V2 ser mais lento ao ocorrer após um V3 pode ser indicativo de um efeito das probabilidades de ocorrência dos eventos, o que é esperado devido ao fato do V2 possuir menor probabilidade de ocorrência.

Figura 2.7 - Desempenho do Grupo de Simulação Mental em Função do Impacto do Passado das Ocorrências de Eventos da Árvore de Contexto.



Média e erro padrão dos tempos de reação de F1, F2, V2 e V3 após as últimas transições (V2 e V3) do grupo de simulação mental.

4. Discussão

O presente estudo foi desenvolvido sob a perspectiva de promover conhecimento acerca de como se dá o aprendizado de uma sequência gerada pela estrutura definida por árvore de contexto selecionada, induzido pela simulação mental. Especialmente se esta leva à uma alteração da atividade cortical em função da estrutura probabilística ali presente, assim como ocorre na aquisição de habilidades motoras comparadas ao treino de execução motora real da tarefa de sequência probabilística. Ao mesmo tempo fornece evidências de como o envolvimento de uma prática imaginativa, em que está ausente a realização motora específica, permite entender a forma como estruturas probabilísticas são tratadas pelo sistema nervoso. Nesse contexto vale ressaltar que a prática mental modula a excitabilidade do córtex motor primário, promovendo uma eficácia na aquisição de

aprendizagem motora de sequências sendo benéfica para a aquisição de habilidades motoras finas demonstrando ser uma terapia potencialmente interessante (Sobierajewicz, 2016). Para avaliar tais aspectos, comparamos os efeitos de aprendizagem de uma tarefa de toque de dedos (*“finger tapping task”*) que segue uma estrutura de tempo de reação serial ao longo dos blocos experimentais com diferentes probabilidades de ocorrência de cada evento na sequência. Os resultados obtidos demonstraram uma aprendizagem significativa durante a simulação mental.

A mais notável evidência encontrada no estudo é sobre a simulação mental, em que os resultados apresentaram um efeito de aprendizagem da sequência probabilística mais compatível com a estrutura definida na árvore de contexto do que o grupo de execução motora, apresentando as médias do tempo de reação decaindo ao longo dos blocos, especialmente em relação ao evento com menor probabilidade de ocorrência na tarefa. Este efeito pode ser, possivelmente, ocasionado por uma ausência de feedback motor e sensorial, por meio de uma expectativa sensorial, na simulação mental, já que o indivíduo apenas imagina estar realizando a tarefa proposta, não a executando de fato. No grupo de execução motora, como ocorre a execução da tarefa em si, ao receber os feedback sensorial e motor, o indivíduo os utiliza como uma forma de correção do evento futuro, além do grau de preparação motora gerar uma expectativa sobre o evento futuro, tendo uma influência significativa no V2 (26% de probabilidade de ocorrência) e V3 (74% de probabilidade de ocorrência). A prática mental é bastante aplicada na área esportiva, para melhorar o desempenho, além de ser utilizada também em terapias físicas e cognitivas (Schuster et.al., 2011; Park et.al., 2014). Sabe-se que este tipo de prática utiliza representações multimodais (motoras e sensoriais) armazenadas previamente ou experiências anteriores de movimentos (O’Shea & Moran, 2017), além de ativar as mesmas áreas do cérebro que a execução em si do movimento (Jeannerod & Decety, 1995). O treino imaginativo motor, um tipo de prática mental, ativa as vias motoras descendentes, modula as vias autonômicas e as vias de reflexo espinal, e

altera a transmissão de sinais em vias corticais aferentes (Crammond, 1997). Com isso, a prática mental pode facilitar a atividade do córtex motor e a neuroplasticidade sem o movimento físico (Jeannerod & Decety, 1995; Zhang et.al., 2018). Segundo Wolpert e Ghahramani (2000), em relação às teorias de controle motor, durante a execução de uma determinada tarefa, atrasos temporais no feedback sensorial interferem diretamente na capacidade do sistema motor de controlar, precisamente, a trajetória e a cinemática do movimento; e para compensar esses atrasos, acredita-se que as consequências de uma ação sejam previstas por um modelo de transformação interna motora-sensorial (cópia de eferência do comando motor) facilitando a formulação de comandos motores sequenciais em ausência de feedback sensorial real.

Muitos estudos têm demonstrado que o treino imaginativo motor pode melhorar o desempenho, em termos de precisão e eficiência do movimento (Di Rienzo et al., 2016). Gentili e colaboradores (2006) demonstraram que a aprendizagem motora impulsionada pela prática mental pode ser generalizada para tarefas similares às executadas fisicamente. Na realidade, o treino imaginativo motor, além de ser estratégia comum entre atletas (Ridderinkhof & Brass, 2015) e músicos profissionais (Lotze, 2013), é benéfico para a reabilitação motora (Mulder, 2007). Kilteni e colaboradores (2018) indicaram que a melhora motora observada após a prática mental de uma tarefa pode ser devido a modelos avançados baseados na cópia de eferência durante a simulação. Ainda neste estudo, durante a simulação mental repetida de uma tarefa, os modelos avançados poderiam usar a diferença entre o resultado previsto e o desejado como um sinal de ensino no processo de atualização, estabelecendo um melhor desempenho motor e mais preciso durante a execução motora subsequente, concluindo que o treino imaginativo motor corresponde à simulação interna da ação da mente que pode ser usada para melhorar ainda mais o desempenho e induzir a plasticidade neural (Kilteni et.al., 2018). De acordo com as teorias de controle motor, durante a execução da tarefa proposta, em que atrasos temporais no feedback sensorial

interferem na capacidade do sistema motor de controlar o movimento, por isso, provavelmente, gerando um certo atraso no aprendizado da estrutura probabilística da árvore de contexto no grupo de execução motora da ação no presente estudo.

Outro importante achado no estudo foi acerca do efeito do passado imediato ao longo da sequência gerada pela estrutura definida pela árvore de contexto selecionada. Este efeito possivelmente pode ser explicado pelo sistema de correção contínua do plano motor, na qual ocorre uma quebra da sequência com os elementos variáveis, e o mesmo tenta gerar uma probabilidade de ocorrência para o próximo evento da sequência, dessa maneira fazendo com que o evento passado influencie na escolha da resposta do evento futuro. O que é esperado devido ao fato do V2 possuir menor probabilidade de ocorrência. De acordo com Schmidt e Lee (2013), o sistema de correção contínua do plano motor começa com um input que entra na área executiva, de tomada de decisão, cuja tarefa é definir quais ações serão executadas; em seguida, a área executiva passa as instruções para o nível efetor, que é responsável por executá-las; concluídas as ações, o trabalho do sistema "open-loop" termina até que o executivo seja acionado novamente. Como o feedback não está presente nesse sistema, as modificações na ação não podem ser realizadas enquanto a ação está em andamento. Movimentos rápidos como uma tarefa de toque de dedos ("*finger tapping task*") parecem ser controlados pelo sistema "open-loop", sem muito controle consciente, uma vez que o movimento está em andamento e a área executiva não tem tempo para processar as informações sobre erros de movimento, assim o planejamento do movimento ocorre em sua totalidade antes do início da ação (Seidler, Noll & Thiers, 2004; Guérin, Boitout & Delevoye-Turrell, 2021).

O presente estudo, ao apresentar uma significativa curva de aprendizagem durante a simulação mental para os contextos que formam a sequência de estímulos auditivos testada, pode ser um bom indicativo de uma possível recuperação destas árvores de contexto extraídas por meio de técnicas de EEG em futuros testes experimentais do estudo.

5. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que durante a simulação mental ocorreu um efeito de aprendizagem da sequência mais compatível com a estrutura probabilística utilizada. Tal modelo experimental parece oferecer uma abordagem consistente para a forma como o Sistema Nervoso lida com as contingências impostas pela estrutura probabilística aplicada, já que a simulação mental não apresenta efeitos sensoriais e motores oriundos da prática real da ação motora.

Referências

- Crammond, D. J. (1997). Motor imagery: Never in your wildest dream. *Trends in Neurosciences*, 20(2), 54–57. [https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(96\)30019-2](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(96)30019-2)
- Demanboro, A., Sterr, A., Anjos, S. M. dos, & Conforto, A. B. (2018). A Brazilian-Portuguese version of the Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire. *Arquivos de Neuro-Psiquiatria*, 76(1), 26–31. <https://doi.org/10.1590/0004-282x20170181>
- Desmurget, M., & Sirigu, A. (2009). A parietal-premotor network for movement intention and motor awareness. *Trends in Cognitive Sciences*, 13(10), 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2009.08.001>
- Di Rienzo, F., Debarnot, U., Daligault, S., Saruco, E., Delpuech, C., Doyon, J., Collet, C., & Guillot, A. (2016). Online and offline performance gains following motor imagery practice: A comprehensive review of behavioral and neuroimaging studies. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00315>
- Driskell, J.E., Copper, C., Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance? *J. Appl. Psychol.*, 79(4), 481–492. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.79.4.481>
- Duarte, A., Fraiman, R., Galves, A., Ost, G., & Vargas, C. D. (2019). Retrieving a context tree from EEG data. *Mathematics*, 7(5), 427. <https://doi.org/10.3390/math7050427>
- Gentili, R., Papaxanthis, C., & Pozzo, T. (2006). Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neuroscience*, 137(3), 761–772. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.10.013>
- Guérin, S. M. R., Boitout, J., & Delevoe-Turrell, Y. N. (2021). Attention guides the motor-timing strategies in finger-tapping tasks when moving fast and slow. *Frontiers in Psychology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.574396>

- Helene, A. F., & Xavier, G. F. (2006). Working memory and acquisition of implicit knowledge by imagery training, without actual task performance. *Neuroscience*, *139*(1),401–413.<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.12.008>
- Hernández, N., Duarte, A., Ost, G., Fraiman, R., Galves, A., & Vargas, C. D. (2021). Retrieving the structure of probabilistic sequences of auditory stimuli from EEG data. *Scientific Reports*, *11*(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83119-x>
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: A unifying mechanism for motor cognition. *NeuroImage*, *14*(1), S103–S109.<https://doi.org/10.1006/nimg.2001.0832>
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: A window into the representational stages of action. *Current Opinion in Neurobiology*, *5*(6), 727–732. [https://doi.org/10.1016/0959-4388\(95\)80099-9](https://doi.org/10.1016/0959-4388(95)80099-9)
- Kilteni, K., Andersson, B. J., Houborg, C., & Ehrsson, H. H. (2018). Motor imagery involves predicting the sensory consequences of the imagined movement. *Nature Commun.*,*9*(1).<https://doi.org/10.1038/s41467-018-03989-0>
- Kosslyn, S. M., Ganis, G., & Thompson, W. L. (2001). Neural foundations of imagery. *Nature Reviews Neuroscience*, *2*(9),635–642.<https://doi.org/10.1038/35090055>
- Lotze, M. (2013). Kinesthetic imagery of musical performance. *Frontiers in Human Neuroscience*,*7*.<https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00280>
- Mulder, Th. (2007). Motor imagery and action observation: Cognitive tools for rehabilitation. *Journal of Neural Transmission*,*114*(10),1265–1278.<https://doi.org/10.1007/s00702-007-0763-z>
- Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, *9*(1),97–113.[https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)
- O’Shea, H., & Moran, A. (2017). Does motor simulation theory explain the cognitive mechanisms underlying motor imagery? A critical review. *Frontiers in Human Neuroscience*,*11*.<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00072>
- Papaxanthis, C., Pozzo, T., Skoura, X., Schieppati, M. (2002). Does order and timing in performance of imagined and actual movements affect the motor imagery process? The duration of walking and writing task. *Behav. Brain Res.*, *134*(1–2),209–215.[https://doi.org/10.1016/s0166-4328\(02\)00030-x](https://doi.org/10.1016/s0166-4328(02)00030-x)
- Park, C., Chang, W. H., Lee, M., Kwon, G. H., Kim, L., Kim, S. T., & Kim, Y.-H. (2014). Predicting the performance of motor imagery in stroke patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *29*(3),247–254.<https://doi.org/10.1177/1545968314543308>
- Ridderinkhof, K. R., & Brass, M. (2015). How Kinesthetic Motor Imagery works: A predictive-processing theory of visualization in sports and motor expertise. *Journal of Physiology-Paris*, *109*(1–3), 53–63.<https://doi.org/10.1016/j.jphysparis.2015.02.003>
- Schmidt, R., & Lee, T. (2013). *Motor learning and performance, 5E with web*

study guide: From principles to application (5th ed.). Human Kinetics.

Schuster, C., Hilfiker, R., Amft, O., Scheidhauer, A., Andrews, B., Butler, J., Kischka, U., & Ettl, T. (2011). Best practice for motor imagery: A systematic literature review on motor imagery training elements in five different disciplines. *BMC Medicine*, 9(1). <https://doi.org/10.1186/1741-7015-9-75>

Seidler, R. D., Noll, D. C., & Thiers, G. (2004). Feedforward and feedback processes in motor control. *NeuroImage*, 22(4), 1775–1783. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.05.003>

Sobierajewicz, J., Przekoracka-Krawczyk, A., Jaśkowski, W., Verwey, W. B., & van der Lubbe, R. (2016). The influence of motor imagery on the learning of a fine hand motor skill. *Experimental Brain Research*, 235(1), 305–320. <https://doi.org/10.1007/s00221-016-4794-2>

Stock, A.-K., Wascher, E., & Beste, C. (2013). Differential effects of motor efference copies and proprioceptive information on response evaluation processes. *PLoS ONE*, 8(4), e62335. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062335>

Tian, X. & Poeppel, D. (2010). Mental imagery of speech and movement implicates the dynamics of internal forward models. *Frontiers in Psychology*, 1. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2010.00166>

Uscapi, Y. L. (2020). *Avaliação do aprendizado de sequências determinísticas e probabilísticas na doença de Parkinson*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, São Paulo. Retrieved May 25, 2023, from <http://dx.doi.org/10.11606/d.47.2020.tde-03082020-122150>

Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, 3(S11), 1212–1217. <https://doi.org/10.1038/81497>

Zhang, T., Li, F., Li, B.-J., Zhang, W., Zhao, J., & Song, L.-P. (2018). Motor imagery training induces changes in brain neural networks in stroke patients. *Neural Regeneration Research*, 13(10), 1771. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.238616>

Capítulo III. Experimento 2

Análise de ERPs durante tarefa de tempo de reação serial em execução motora e simulação mental

1. Introdução

A prática mental na forma de simulação mental, assim como a realização de ações motoras automáticas, envolve uma série de processos neurais que, indiretamente, podem ser visualizados e avaliados por meio de técnicas de monitoramento eletrofisiológico como o EEG (Light et al., 2010). Uma estratégia relevante de avaliação desta atividade neural se dá por meio de Potenciais Evocados ou Potenciais Relacionados ao Evento (*Event-Related Potential - ERPs*), que são obtidos a partir da análise da atividade cortical por meio de eletrodos durante a realização de uma determinada tarefa e permitem observar os efeitos de atividade gerada pela ação, mais ainda, permitem observar os efeitos de expectativa da ocorrência dos eventos em questão, ou seja, fornece medidas diretas dos processos cognitivos à medida que ocorrem (Bradley & Keil, 2012). Os componentes do ERP são classicamente divididos em três categorias principais: (1) componentes sensoriais exógenos que são obrigatoriamente acionados pela presença de um estímulo (mas podem ser modulados até certo ponto por processos “*top-down*”); (2) componentes endógenos que refletem processos neurais totalmente dependentes de tarefas; e (3) componentes motores que acompanham a preparação e execução de uma dada resposta motora (Luck, 2014).

Um ERP amplamente estudado e associado a processos cognitivos como a avaliação de estímulos, a tomada de decisão, o processo atencional e a memória operacional é conhecido como P300 (Polich, 2007). O P300 é um potencial positivo com intervalo de latência entre 250 e 400 ms, pico na atividade de aproximadamente 300 ms após a apresentação do estímulo-alvo, mais comumente auditivo, e

amplitude de resposta proporcional à quantidade de recurso atencional durante a tarefa, ou seja, quanto maior a atenção, maior a onda visualizada no sinal (Sur & Sinha, 2009). A distribuição do P300 ocorre com a mudança de amplitude nos eletrodos da linha média (Fz, Cz, Pz), que normalmente aumenta em magnitude dos locais de eletrodo frontal para parietal (Johnson, 1993). Este potencial é frequentemente observado em paradigmas do tipo “oddball”, onde estímulos padrão são apresentados em uma série de tal forma que um estímulo-alvo ocorre com menor frequência (van Dinteren et al., 2014).

No presente experimento propomos, por meio de uma tarefa de tempo de reação serial seguindo uma estrutura probabilística, avaliar o impacto neural mensurável pelos sinais de ERPs associado à preparação motora e ao desempenho da simulação mental, a aquisição de habilidades motoras e a aprendizagem em uma população saudável para uma futura aplicação do treinamento imaginativo na área clínica. Como hipótese espera-se que a simulação mental, por apresentar uma equivalência de ativação de áreas motora corticais e subcorticais com a execução motora, apresente ERPs compatíveis com a tarefa motora e a estrutura probabilística utilizada na sequência de estímulos auditivos. Com isso, intentamos avaliar a atividade eletrofisiológica referente aos potenciais de expectativa de ocorrência do evento presentes tanto na execução motora quanto na simulação mental.

2. Materiais e métodos

2.1. Arranjo experimental

Voluntários

O experimento envolveu análise comportamental e eletrofisiológica de um total de dezoito voluntários saudáveis que foram divididos em dois grupos: grupo de execução motora (n=9) e grupo de simulação mental (n=9). Os voluntários (7

homens e 11 mulheres) eram estudantes de graduação e pós-graduação da Universidade de São Paulo, campus de São Paulo. A coleta de dados foi realizada na sala de experimentos do CEPID NeuroMat (Centro de Pesquisa, Inovação e Difusão em Neuromatemática) da USP-SP.

Aspectos éticos

O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa - Seres Humanos (CEP) do Instituto de Biociências da USP (IB-USP), número CAAE 15274718.8.0000.5464. Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) após obterem o conhecimento necessário acerca das instruções e procedimentos a serem realizados ao longo do experimento.

Crítérios de inclusão

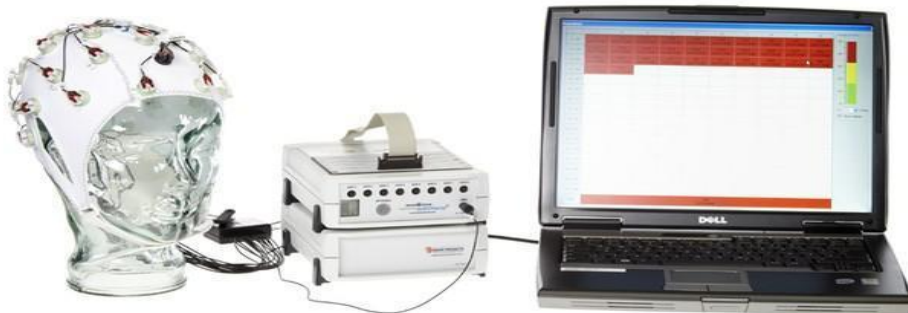
Os critérios de inclusão foram: indivíduos maiores de 18 anos; assinatura do TCLE; visão normal ou corrigida; dominância manual à direita determinada por pontuação superior a 50 pelo Inventário de Dominância Lateral de Edimburgo (*Edinburgh Handedness Inventory*) (Oldfield, 1971); capacidade de realizar tarefas imaginativas de acordo com a versão brasileira do Questionário de Imagética Motora Cinestésica e Visual (*Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire - KVIQ-10*) (Demanboro et al., 2018); e indivíduos saudáveis.

Eletroencefalografia (EEG)

O sistema BrainVision ActiCHamp de EEG com 32 canais (*Brain Products GmbH, Gilching, Germany*) foi utilizado para a aquisição de sinais neurais (figura 3.1) e o software BrainVision Recorder (*Brain Products GmbH, Gilching, Germany*) para registrar os dados EEG/ERP. Os sinais adquiridos através dos eletrodos e sensores são amplificados, digitalizados e depois transferidos para um computador via USB para exibição e armazenamento. O sistema consiste em:

- 1 base actiCHamp de até 5 módulos de 32 canais, 1 PowerPack e carregador V9 ou bateria actiCPOWER e carregador;
- 1 cabo USB2, 1 cabo 'trigger', até 5 ramos de eletrodos actiCAP, toucas de tecido 32 canais de tamanhos diversos;
- 1 notebook de registro;
- 1 conjunto contendo gel, agulhas de ponta romba, adesivos; adaptador de sensor para entradas AUX, e pelo menos dois eletrodos de substituição.

Figura 3.1 - Sistema BrainVision actiCHamp.



FONTE: <http://www.brainvision.com/actichamp.html>

2.2. Avaliações funcionais

Primeiramente, antes do início do experimento, foram realizadas as avaliações funcionais descritas anteriormente na seção 2.2 do capítulo II.

2.3. Experimento comportamental

O experimento comportamental foi realizado de acordo com o protocolo descrito anteriormente na seção 2.3 do capítulo II. A fase pré-teste ou de

familiarização do experimento consistiu em quinze tentativas, sendo os números apresentados numa sequência aleatória com cinco toques para cada dedo.

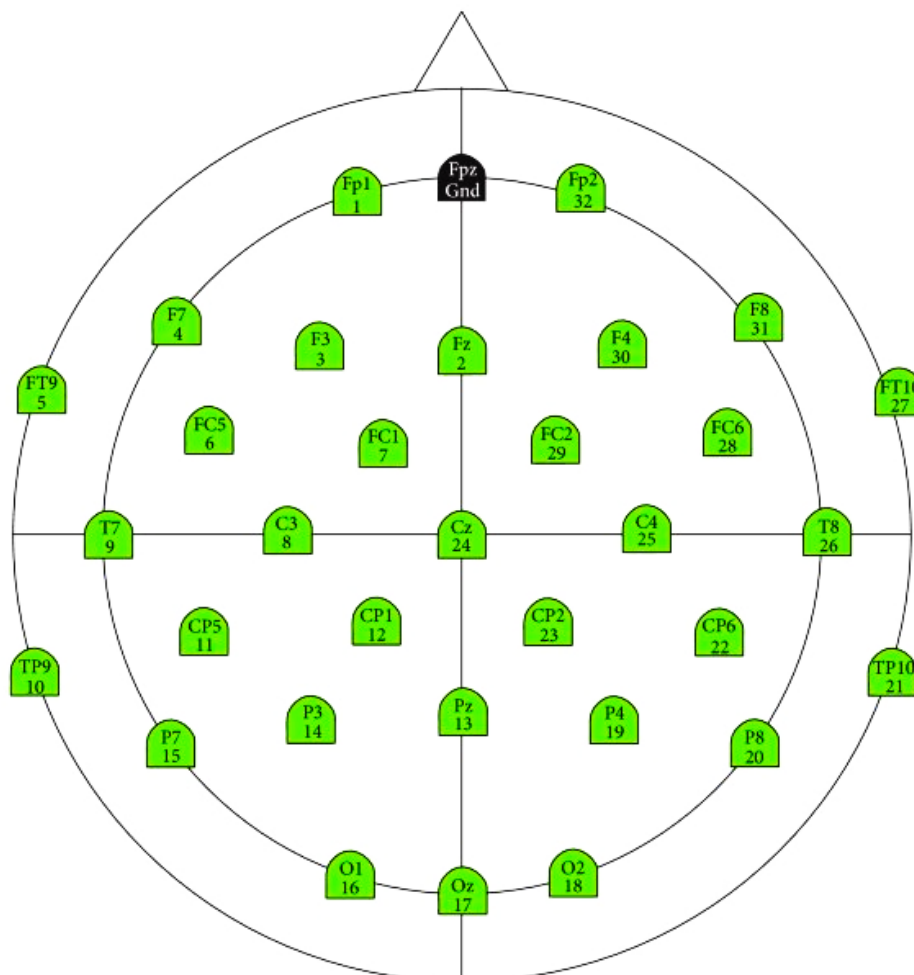
2.4. Registro e análise eletroencefalográfica

De acordo com o Sistema Internacional de EEG 10-20 (figura 3.2), os 32 eletrodos foram divididos em sete eletrodos frontais (Fp1, Fp2, F7, F3, Fz, F4, F8), quatro eletrodos fronto-centrais (FC5, FC1, FC2, FC6), nove eletrodos centro-temporais (T7, C3, Cz, C4, T8, CP5, CP1, CP2, CP6), quatro eletrodos laterais (FT9, FT10, TP9, TP10) e oito eletrodos parieto-occipitais (P7, P3, Pz, P4, P8, O1, Oz, O2). O eletrodo Cz serviu como eletrodo de referência, em seguida, todos os 32 eletrodos foram referenciados à média algébrica de todos os canais e, portanto, não tendenciosos para qualquer posição do eletrodo. O eletrodo *ground* foi posicionado entre os eletrodos Fp1 e Fp2. A impedância de todos os eletrodos foi mantida abaixo de 25 kOhm. Os sinais de EEG foram coletados, amplificados e digitalizados por meio de um amplificador ActiCHamp (Brain Products GmbH, Alemanha) a uma taxa de amostragem de 1000 Hz. O software *EEGLAB* (ferramenta aberta para processamento de sinais eletrofisiológicos, UCSD, San Diego, CA, USA) do Matlab (The MathWorks, Natick, MA, USA) foi utilizado para a filtragem e análise dos dados do EEG/ERP (Delorme e Makeig, 2004).

Os sinais de EEG foram corrigidos para artefatos e filtrados com filtro passa baixo de frequência em 1Hz para uma análise de componente independente (*Independent Component Analysis - ICA*) mais eficaz na remoção e subtração de artefatos embutidos nos dados como movimentos musculares, piscadas ou movimentos dos olhos, componentes elétricos e ruídos, sem remover as partes dos dados afetados. Os dados foram divididos em épocas para uma dinâmica de EEG relacionada a eventos dos dados registrados continuamente, no caso, foram divididos em F1, F2, V2 e V3. Para cada sujeito e cada tentativa, o sinal eletrofisiológico registrado foi calculado separadamente em todos os eletrodos e

condições experimentais (grupos experimentais), resultando em ERPs individuais para cada condição. Em seguida, os sinais de ERP foram calculados em média em todos os indivíduos em suas respectivas condições, resultando na média geral por condição. Devido ao desenho experimental, foram realizadas análises separadas para a relação das probabilidades F2 e V2, e também de V2 e V3 para cada condição em um intervalo de tempo de 0 a 500 ms após a apresentação do estímulo auditivo correspondente.

Figura 3.2 - Montagem de 32 eletrodos ActiCAP baseada no Sistema Internacional EEG 10-20.



FONTE: <http://www.brainvision.com>.

2.5. Análise estatística

Para a análise estatística da parte comportamental do experimento foi aplicada uma Análise de Variâncias (ANOVA) univariada GLM adequada para uma distribuição de Poisson, seguida de um teste post-hoc de Tukey para comparações múltiplas. Todas as análises foram realizadas no SPSS Statistics versão 23 e os gráficos no RStudio versão 3.6.3, pacote “ggplot2”. Os Tempos de Reação da fase de teste (variável dependente) dos dois grupos foram comparados, tendo “Grupo” como variável entre sujeitos, e “Bloco” e “Probabilidade” como fatores intra sujeitos. Para fins de análise, apenas os valores das tentativas corretas e com tempo de reação inferior a 2s foram utilizados, sendo os demais considerados “respostas lentas”.

Para a análise estatística da parte encefalográfica (latência e amplitude dos ERPs) foi aplicada uma correção da linha de base do sinal do EEG (-500 ms a 1000 ms), em seguida, um teste t pareado por se tratar de dados gaussianos, uma permutação com valor de $p = 0.05$ seguida de um FDR (*False Discovery Rate*) para o controle da porcentagem de falsos-positivos e correção de comparações múltiplas. Todas as análises foram realizadas no software *EEGLAB* do Matlab. As probabilidades de ocorrência dos eventos foram analisadas separadamente para a relação das probabilidades F2 e V2, também de V2 e V3 no intervalo de tempo de 0 a 500 ms após o início dos estímulos auditivos.

3. Resultados

3.1. Caracterização dos voluntários

A tabela 3.1 apresenta a comparação entre as características demográficas e funcionais do grupo de execução motora ($n=9$) e simulação mental ($n=9$) contendo média e desvio padrão.

Ambos os grupos apresentaram similaridades em relação às características demográficas e funcionais. Todos os voluntários apontaram dominância manual à direita (pontuação > 50 na escala) e aptidão em simulação mental (escore varia de 10 a 50 para cada escala, com pontuações maiores indicando maior aptidão em simulação mental).

Tabela 3.1 - Características demográficas e funcionais dos participantes do experimento comportamental e eletroencefalográfico (n=18) contendo valores das médias e desvios padrão.

	Execução Real	Simulação Mental	Total
Idade (anos)	24,22±5,14	25,33±4,97	24,77±4,94
Gênero	F(5); M(4)	F(6); M(3)	F(11); M (7)
Instrumento Musical	S(8); N(1)	S(6); N(3)	S(14); N(4)
Inventário de Edimburgo QL	84,44±16,67	83,33±22,91	83,88±19,44
KVIQP-10V	28,44±4,03	27,55±9,93	28±7,36
KVIQP-10C	28,44±6,41	26,66±6,76	27,55±6,46

F = feminino; M = masculino; S = sim; N = não; QL = quociente de lateralidade. KVIQP-10V = questionário de imagética motora visual ; KVIQP-10C = questionário de imagética motora cinestésica.

3.2. Análises de desempenho em função das probabilidades de ocorrência dos eventos

Execução motora

A figura 3.3 abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrão contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos experimentais do grupo de execução motora (n=9). Na análise de GLM foram observados efeitos de Probabilidade ($F_{19,3}=7,034$ com $p<0,001$), mas não de Bloco ($F_{19,4}=1,144$ com $p=0,334$) e de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=1,110$ com $p=0,346$). O teste post hoc de Tukey apresentou ausência de efeito significativo ($p<0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F2 aumentaram ligeiramente no segundo e quinto blocos, as de V2

aumentaram no segundo bloco, as de V3 aumentaram ligeiramente no terceiro e quarto blocos, enquanto as de F1 se mantiveram baixas ao longo dos blocos.

Figura 3.3 - Desempenho do Grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

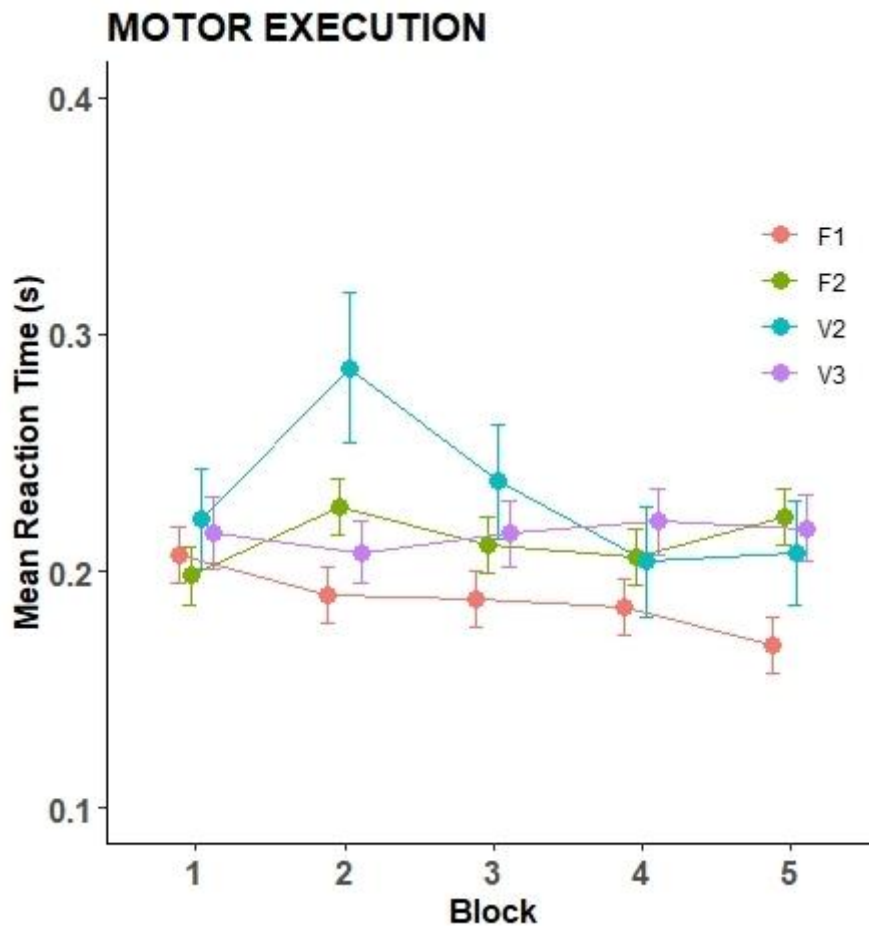


Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de execução motora.

Simulação mental

A figura 3.4 abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrão contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos experimentais do grupo de simulação mental (n=9). Na análise de GLM foram observados efeitos de Bloco ($F_{19,4}=29,087$ com $p<0,001$), mas não de Probabilidade

($F_{19,3}=0,292$ com $p=0,831$) e de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=0,443$ com $p=0,946$). O teste post hoc de Tukey apresentou ausência de efeito significativo ($p<0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F1, F2, V2 e V3 decaíram ao longo dos blocos, com um aumento no quarto bloco e diminuição no quinto bloco para F1, F2 e V3, enquanto V2 se manteve até o último bloco.

Figura 3.4 - Desempenho do Grupo de Simulação Mental ($n=9$) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

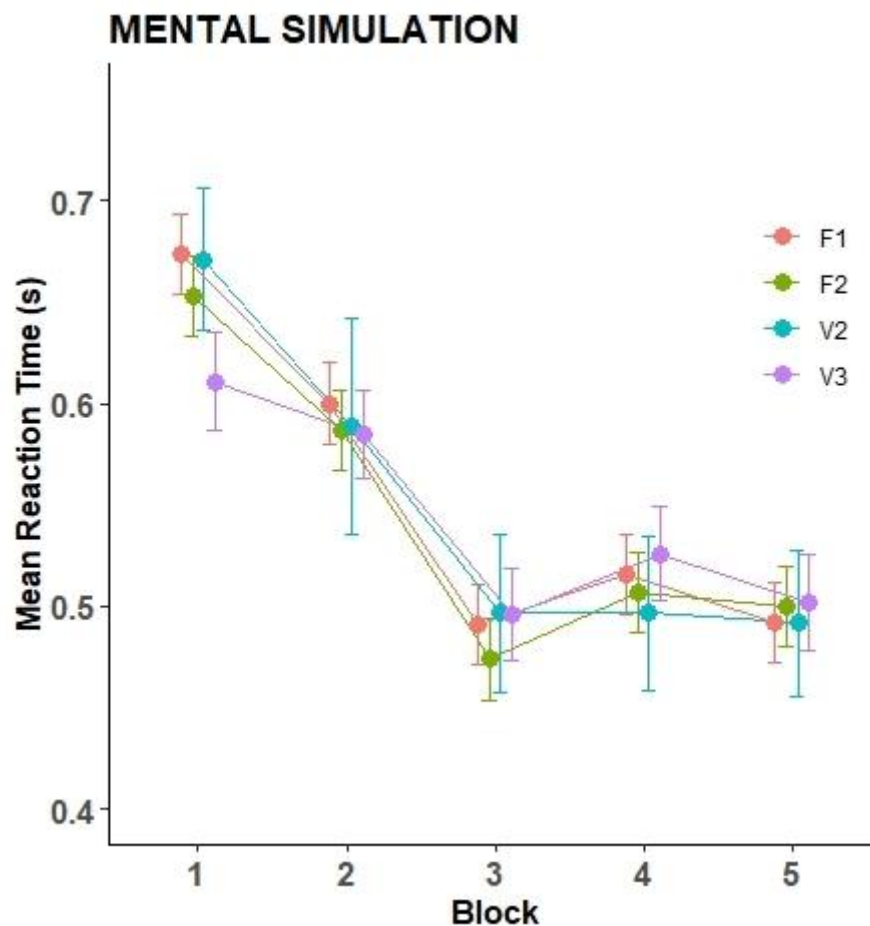


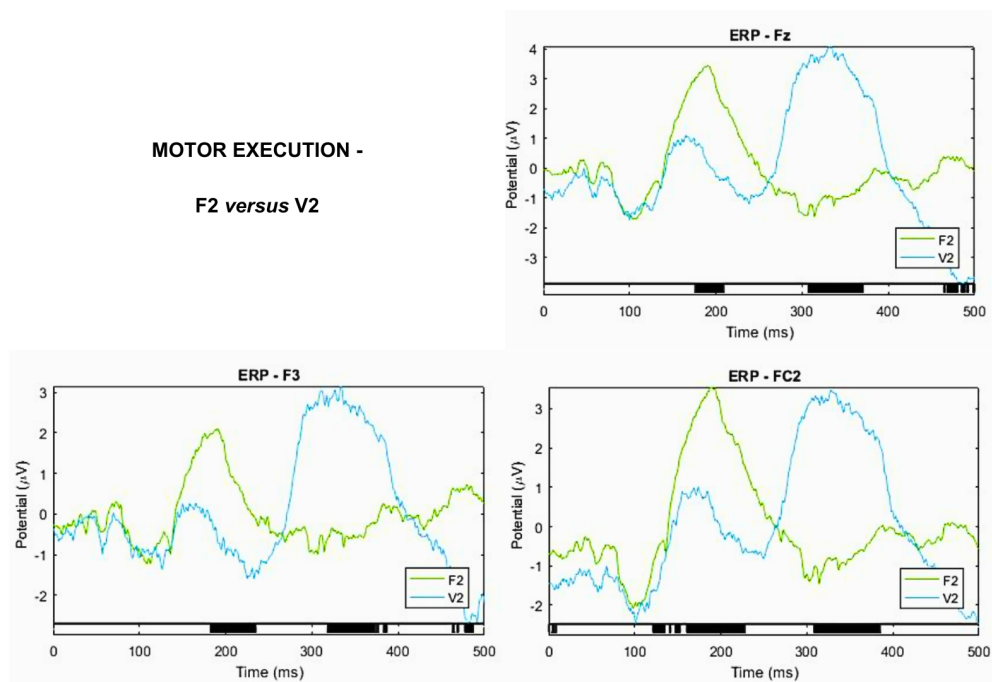
Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de simulação mental.

3.3. Análise eletroencefalográfica dos potenciais evocados (ERPs)

Execução motora

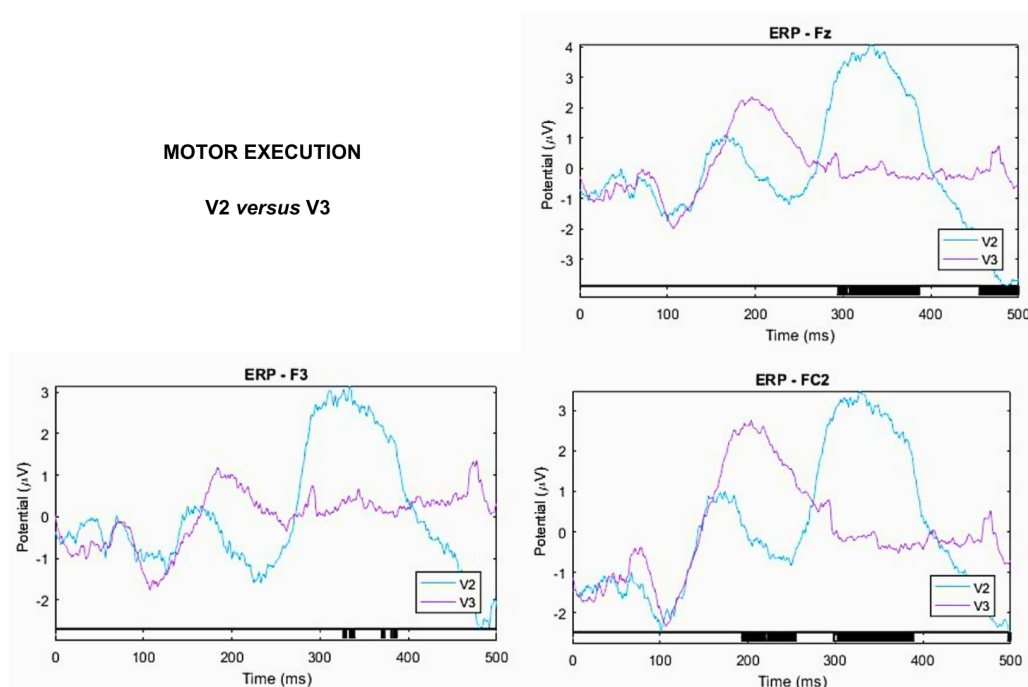
A figura 3.5 apresenta a análise de ERPs para as probabilidades F2 e V2 distribuídas no intervalo de tempo de 0 a 500 ms após a apresentação dos estímulos auditivos correspondentes, para os canais de eletrodos Fz, F3 e FC2, no grupo de execução motora (n=9). No eletrodo Fz observamos diferenças significativas de cerca de 180 ms para cerca de 200 ms, de 300 ms para 380 ms e de -480 para -500 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. No eletrodo F3 observamos diferenças significativas de cerca de 180 ms para cerca de 230 ms e de 320 ms para 380 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significância transitória na linha de base em cerca de -480 ms. No eletrodo FC2 observamos diferenças significativas de cerca de 120 ms para cerca de 220 ms e de 300 ms para 380 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP.

Figura 3.5 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos F2 e V2.



A figura 3.6 apresenta a análise de ERPs para as probabilidades V2 e V3 distribuídas no intervalo de tempo de 0 a 500 ms após a apresentação dos estímulos auditivos correspondentes, para os canais de eletrodos Fz, F3 e FC2, no grupo de execução motora (n=9). No eletrodo Fz observamos diferenças significativas de cerca de 280 ms para cerca de 380 ms e de -480 para -500 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. No eletrodo F3 observamos significância transitória na linha de base em cerca de 320 e de 380 ms indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. No eletrodo FC2 observamos diferenças significativas de cerca de 180 ms para cerca de 260 ms e de 300 ms para 390 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP.

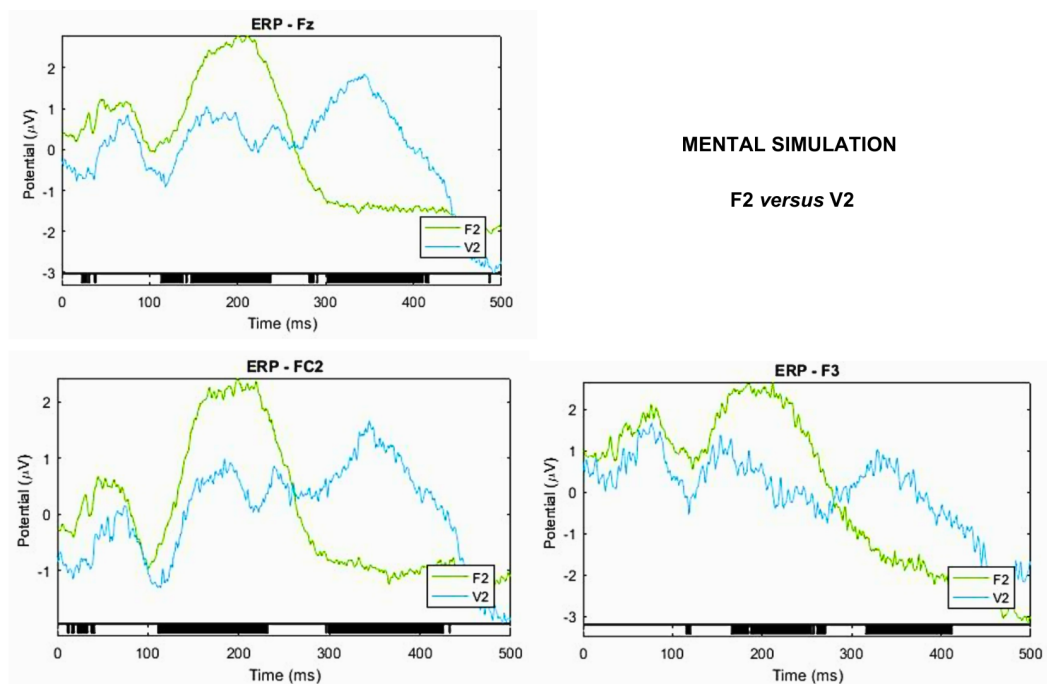
Figura 3.6 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Execução Motora (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos V2 e V3.



Simulação mental

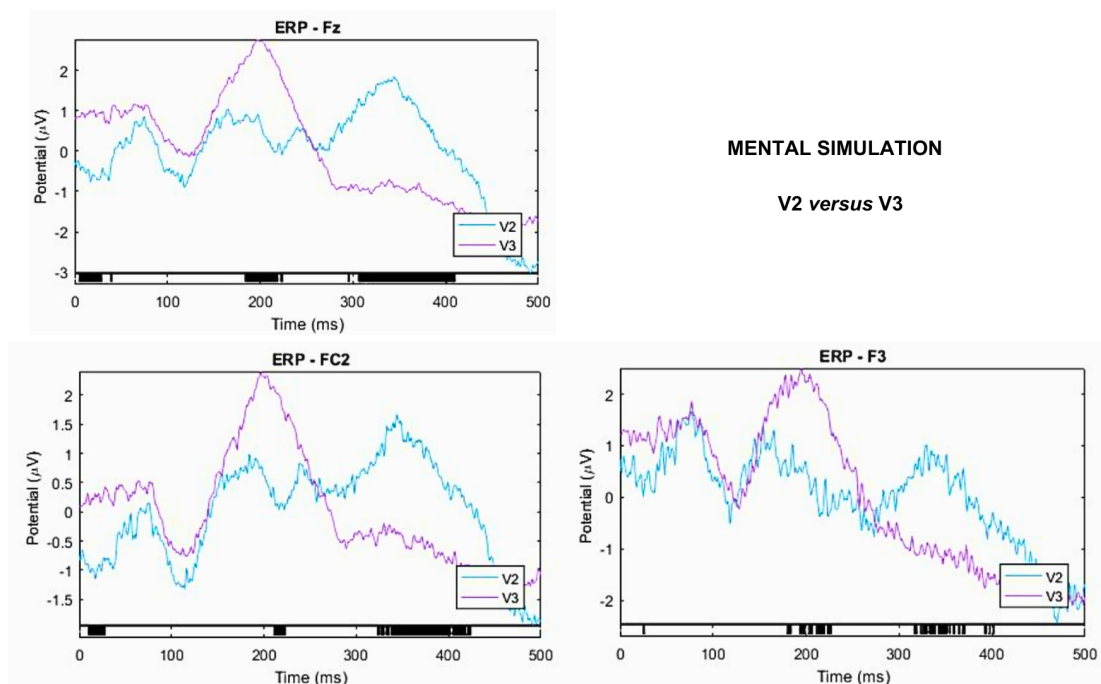
A figura 3.7 apresenta a análise de ERPs para as probabilidades F2 e V2 distribuídas no intervalo de tempo de 0 a 500 ms após a apresentação dos estímulos auditivos correspondentes, para os canais de eletrodos Fz, F3 e FC2, no grupo de simulação mental (n=9). No eletrodo Fz observamos diferenças significativas de cerca 110 ms para cerca de 230 ms e de 310 ms para 410 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significâncias transitórias na linha de base em cerca de 30 ms e de -480 ms. No eletrodo F3 observamos diferenças significativas de cerca de 180 ms para cerca de 280 ms e de 310 ms para 410 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significância transitória na linha de base em cerca de 110 ms. No eletrodo FC2 observamos diferenças significativas de cerca de 110 ms para cerca de 230 ms e de 300 ms para 420 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significância transitória na linha de base em cerca de -20 ms.

Figura 3.7 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Simulação Mental (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos F2 e V2.



A figura 3.8 apresenta a análise de ERPs para as probabilidades V2 e V3 distribuídas no intervalo de tempo de 0 a 500 ms após a apresentação dos estímulos auditivos correspondentes, para os canais de eletrodos Fz, F3 e FC2, no grupo de simulação mental (n=9). No eletrodo Fz observamos diferenças significativas de cerca 190 ms para cerca de 220 ms e de 310 ms para 410 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significância transitória na linha de base em cerca de 20 ms. No eletrodo F3 observamos significâncias transitórias de cerca de 200 ms, de 350 ms e de 400 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. No eletrodo FC2 observamos diferenças significativas de cerca de 320 ms para cerca de 420 ms, indicadas pela barra preta sob os gráficos de ERP. Também observamos significâncias transitórias na linha de base em cerca de 20 ms e de 210 ms.

Figura 3.8 - ERPs nos canais Fz, F3 e FC2 para o grupo de Simulação Mental (n=9) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos V2 e V3.



4. Discussão

O presente estudo foi desenvolvido sob a perspectiva inovadora de promover conhecimento acerca de como se dá o aprendizado de uma sequência probabilística por meio de uma simulação mental, e como ocorre a atividade neural mensurável por meio dos sinais ERPs do EEG. Especialmente se a simulação mental, ao apresentar um desempenho imaginativo mais compatível com a estrutura probabilística da tarefa motora pré-estabelecida, leva à semelhanças da atividade cortical presentes tanto na execução motora da ação quanto na imaginação da mesma. Os resultados obtidos demonstraram uma aprendizagem significativa da tarefa motora durante a execução motora e a simulação mental, e a presença de potenciais evocados relacionados à expectativa de ocorrência do evento na área fronto-central do córtex durante a execução motora e a simulação mental da tarefa motora proposta.

Na parte comportamental do estudo, a primeira evidência encontrada é em relação ao efeito do recrutamento de uma rede cerebral associado com a produção da imagem mental do movimento na simulação mental (n=9), por se tratar de uma tarefa mais desafiadora do que a execução motora, que apresentam as médias do tempo de reação da resposta decaindo ao longo dos blocos experimentais. Entretanto, ao aumentar o tamanho amostral (ver anexo D e capítulo II) é possível visualizar a aprendizagem motora mais compatível com a estrutura probabilística utilizada, na qual o evento raro (V2) leva mais tempo de aprendizagem durante a simulação mental. Este efeito encontrado na simulação mental pode ser explicado possivelmente pela ausência de feedback motor por meio de uma expectativa sensorial. No grupo de execução motora, como ocorre a execução da tarefa em si, ao receber os feedback sensorial e motor, o indivíduo os utiliza como uma forma de correção do evento futuro, além do grau de preparação motora gerar uma expectativa sobre o evento futuro, tendo uma influência significativa nos eventos com probabilidades de ocorrência variáveis.

Segundo o modelo de cópia de eferência do comando motor, durante a execução de uma determinada tarefa motora, para compensar os atrasos temporais no feedback sensorial, a cópia de eferência facilita a formulação de comando motores sequenciais em ausência de feedback sensorial real (Wolpert & Ghahramani, 2000). E na simulação repetida de uma tarefa, este modelo contribui ainda mais para a melhora do desempenho motor funcionando como um processo de atualização do comando motor (Kilteni et.al., 2018). Dessa maneira, no presente estudo, grupo de simulação mental se ajusta mais rapidamente a tarefa motora proposta, já que há apenas a presença do feedback sensorial estimado para a atualização do comando motor enviado. Portanto, seguindo esse raciocínio pode-se observar que a cópia de eferência motora atua tanto no processamento de erros durante uma tarefa como também no controle motor e execução (Peterburs et al., 2011; Allain et al., 2004).

Outra notável evidência encontrada no estudo é relacionada aos ERPs mensurados por meio do sinal de EEG, em que foi possível visualizar a presença do P300, um potencial positivo de expectativa de ocorrência dos eventos, nos canais fronto-centrais Fz, F3 e FC2, tanto no grupo de execução motora quanto no de simulação mental quando visualmente comparada a probabilidade V2 com as probabilidades F2 e V3. No grupo de simulação mental, a amplitude do P300 foi menor do que as observadas no grupo de execução motora. O potencial P300, em indivíduos normais, pode ser encontrado no córtex pré-frontal, no cíngulo medial, no cíngulo posterior, no córtex parietal e no lobo temporal (Winterer et al., 2001), além de possuir subcomponentes chamados de P3a (potencial P3 inovador) que é obtido por estímulos pouco frequentes e sua amplitude máxima ocorre em áreas fronto-centrais, e P3b (P3 clássico) que é obtido por estímulos repetitivos e sua amplitude máxima é mais distribuído sobre as áreas parieto-centrais (Knight et al., 1989; Comerchero & Polich, 1998; Herrmann & Knight, 2001). Um estímulo inesperado, incomum ou infrequente durante a tarefa provocará a ocorrência de uma resposta frontal do tipo P300 (Luck, 2014). O presente estudo não analisou o

potencial P300 de acordo com seus subcomponentes, porém foi visualizada a atividade do potencial em eletrodos da região fronto-central do couro cabeludo após o estímulo raro e inesperado, V2, tanto na execução motora quanto na simulação mental.

Além da obtenção do P300 após o estímulo raro, a presença de outro ERP, o P200, foi visualizada no estudo após os estímulos de maiores probabilidades de ocorrência na sequência, F2 e V3, em ambos os grupos experimentais. Na simulação mental, o P200 apresentou maiores amplitudes quando comparadas visualmente ao P300, enquanto no grupo de execução motora ocorreu o contrário. O P200 é um potencial positivo que geralmente atinge o pico entre 150 e 250 ms após o início de um estímulo auditivo, além de ser um componente relacionado à atenção encontrado nas áreas fronto-centrais do couro cabeludo (Bourisly & Shuaib, 2018; Ferreira-Santos et al., 2012). Tanto o P300 quanto o P200 encontrados no estudo podem estar relacionados com a teoria de “atualização do contexto” proposta por Donchin (1981) em que a amplitude do P300 representa a atividade cerebral relacionada à atualização de uma representação de estímulos relevantes e desviantes são apresentados. Ou seja, os estímulos entram no sistema de processamento e a memória é ativada para verificar se o estímulo atual é o mesmo que o anterior ou não, se for o mesmo, o modelo neural do ambiente do estímulo permanece inalterado e os potenciais evocados sensoriais (N100, P200, N200) são obtidos, entretanto se for diferente, ocorre alocação de recursos atencionais fazendo com que a representação neural do ambiente do estímulo seja atualizada, de modo que o P300 seja gerado (Polich, 2003). Em nosso estudo, após os estímulos F2 e V3 foi possível visualizar o potencial P200 nos grupos de execução motora e simulação mental, isso é condizente com a Teoria da Atualização do Contexto ou do Modelo Mental, já que são estímulos mais com maiores probabilidades de ocorrência, 100% e 74%, respectivamente, portanto mais frequentes durante a tarefa. Enquanto o P300 surgiu após o V2, evento raro na sequência, com 26% de probabilidade de

ocorrência. Estes resultados encontrados estão de acordo com a estrutura probabilística utilizada no estudo.

Por fim, em relação a amplitude e latência do P300, segundo a meta-análise de van Dinteren e colaboradores (2014), o tipo de paradigma estudado pode afetar a amplitude do potencial, já que ela indica a quantidade de recursos cognitivos (atenção, foco, precisão, entre outros) que o indivíduo precisa utilizar ao executar com sucesso a tarefa. Enquanto a latência do P300 pode ser um índice da velocidade de processamento de informações. Por exemplo, no paradigma “*oddball*” o estímulo mais frequente da sequência necessita de menos recursos cognitivos em sua execução, ou seja, ocorre uma habituação desse estímulo. Então, ao contrário, o estímulo menos frequente, mais raro, aloca mais recursos para sua execução. Um outro estudo utilizando um paradigma “*oddball*” auditório com um estímulo-alvo com probabilidades diferentes em três condições diferentes demonstrou que as amplitudes e latências do P300 foram afetadas pelas variáveis experimentais nas formas esperadas e ao diminuir a probabilidade do estímulo-alvo ocorreu um aumento da amplitude do P300 com uma ligeira mudança na latência do pico (Spencer & Polich, 1999). De fato, em nosso estudo foi possível observar que o P300 gerado após o evento V2, mais raro, apresentou uma amplitude mais alta no grupo de execução motora, entretanto não foi possível observar este potencial após os outros eventos mais frequentes, e sim o P200. No grupo de simulação mental, o P300 apresentou uma menor amplitude após o evento raro quando comparado visualmente ao P200 que foi observado após os estímulos de maior frequência. Isto pode ser devido ao fato da prática imaginativa apresentar parâmetros fisiológicos semelhantes, porém de menor intensidade se comparados à prática motora em si, além do fato de não ocorrer a execução em si do movimento e de seus efeitos motores e sensoriais, apenas apresentando efeitos da expectativa sensorial.

O presente estudo, ao apresentar a simulação mental como uma técnica mais desafiadora do que a execução motora com um recrutamento de uma rede cerebral associado com a produção da imagem mental, e ao apresentar potenciais evocados

condizentes com a estrutura probabilística utilizada na tarefa motora em ambos os grupos experimentais, em especial durante a simulação mental, pode ser um bom indicativo de um possível protocolo imaginativo de avaliação eletrofisiológica e reabilitação neurológica na área clínica.

5. Conclusão

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, conclui-se que em relação ao experimento comportamental houve uma aprendizagem durante a execução motora e simulação mental. Em relação aos ERPs, o P300 e o P200 encontrados nos canais localizados em regiões mais fronto-centrais demonstraram uma compatibilidade com sequência probabilística utilizada quando comparadas a frequência de ocorrência dos estímulo, especialmente o evento raro e inesperado, durante a execução motora e simulação mental.

Referências

- Allain, S., Hasbroucq, T., Burle, B., Grapperon, J., & Vidal, F. (2004). Response monitoring without sensory feedback. *Clinical Neurophysiology*, 115(9), 2014–2020. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.04.013>
- Bourisly, A. K., & Shuaib, A. (2018). Sex differences in electrophysiology: P200 event-related potential evidence. *Translational Neuroscience*, 9(1), 72–77. <https://doi.org/10.1515/tnsci-2018-0013>
- Bradley, M. M., & Keil, A. (2012). Event-Related potentials (erps). In V. S. Ramachandran (Ed.), *Encyclopedia of Human Behavior* (pp. 79–85). Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-375000-6.00154-3>
- Comerchero, M. D., & Polich, J. (1998). P3a, perceptual distinctiveness, and stimulus modality. *Cognitive Brain Research*, 7(1), 41–48. [https://doi.org/10.1016/s0926-6410\(98\)00009-3](https://doi.org/10.1016/s0926-6410(98)00009-3)
- Delorme, A., & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An open source toolbox for analysis of single-trial EEG dynamics including independent component analysis. *Journal of Neuroscience Methods*, 134(1), 9–21. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2003.10.009>
- Demamboro, A., Sterr, A., Anjos, S. M. dos, & Conforto, A. B. (2018). A Brazilian-Portuguese version of the Kinesthetic and Visual Motor Imagery Questionnaire. *Arquivos de*

Neuro-Psiquiatria,76(1),26–31.<https://doi.org/10.1590/0004-282x20170181>

Donchin, E. (1981). Surprise!? Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493–513. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb01815.x>

Ferreira-Santos, F., Silveira, C., Almeida, P. R., Palha, A., Barbosa, F., & Marques-Teixeira, J. (2012). The auditory P200 is both increased and reduced in schizophrenia? A meta-analytic dissociation of the effect for standard and target stimuli in the oddball task. *Clinical Neurophysiology*, 123(7), 1300–1308. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2011.11.036>

Herrmann, C. S., & Knight, R. T. (2001). Mechanisms of human attention: Event-related potentials and oscillations. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 25(6), 465–476. [https://doi.org/10.1016/s0149-7634\(01\)00027-6](https://doi.org/10.1016/s0149-7634(01)00027-6)

Johnson, R., Jr. (1993). On the neural generators of the P300 component of the event-related potential. *Psychophysiology*, 30(1), 90–97. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1993.tb03208.x>

Kilteni, K., Andersson, B. J., Houborg, C., & Ehrsson, H. H. (2018). Motor imagery involves predicting the sensory consequences of the imagined movement. *Nature Communications*, 9(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03989-0>

Knight, R. T., Scabini, D., Woods, D. L., & Clayworth, C. C. (1989). Contributions of temporal-parietal junction to the human auditory P3. *Brain Research*, 502(1), 109–116. [https://doi.org/10.1016/0006-8993\(89\)90466-6](https://doi.org/10.1016/0006-8993(89)90466-6)

Light, G. A., Williams, L. E., Minow, F., Sprock, J., Rissling, A., Sharp, R.,

Swerdlow, N. R., & Braff, D. L. (2010). Electroencephalography (EEG) and event-related potentials (erps) with human participants. *Current Protocols in Neuroscience*, 52(1). <https://doi.org/10.1002/0471142301.ns0625s52>

Luck, S. J. (2014). *An Introduction to the Event-Related Potential Technique, second edition* (2nd ed.). MIT Press.

Oldfield, R. C. (1971). The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh inventory. *Neuropsychologia*, 9(1), 97–113. [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(71\)90067-4](https://doi.org/10.1016/0028-3932(71)90067-4)

Peterburs, J., Pergola, G., Koch, B., Schwarz, M., Hoffmann, K.-P., Daum, I., & Bellebaum, C. (2011). Altered Error Processing following Vascular Thalamic Damage: Evidence from an Antisaccade Task. *PLoS ONE*, 6(6), e21517. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021517>

Polich, J. (2003). Theoretical overview of p3a and p3b. In *Detection of Change* (pp. 83–98). SpringerUS. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4615-0294-4_5

Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, 118(10), 2128–2148. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2007.04.019>

Spencer, K. M., & Polich, J. (1999). Poststimulus EEG spectral analysis and P300: Attention, task, and probability. *Psychophysiology*, 36(2), 220–232. <https://doi.org/10.1111/1469-8986.3620220>

Sur, S., & Sinha, V. (2009). Event-related potential: An overview. *Industrial Psychiatry Journal*, 18(1), 70. <https://doi.org/10.4103/0972-6748.57865>

van Dinteren, R., Arns, M., Jongsma, M. L. A., & Kessels, R. P. C. (2014). P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*, *9*(2), e87347. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087347>

Winterer, G., Mulert, C., Mientus, S., Gallinat, J., Schlattmann, P., Dorn, H., &

Herrmann, W. M. (2001). P300 and LORETA: comparison of normal subjects and schizophrenic patients. *Brain Topography*, *13*(4), 299–313. <https://doi.org/10.1023/a:1011184814194>

Wolpert, D. M., & Ghahramani, Z. (2000). Computational principles of movement neuroscience. *Nature Neuroscience*, *3*(S11), 1212–1217. <https://doi.org/10.1038/81497>

Discussão Geral

A literatura científica acerca da prática imaginativa ou da simulação mental como uma técnica simples, e ao mesmo tempo inovadora, de aprimoramento de habilidades motoras como tocar um instrumento musical, escrever um livro, jogar futebol ou andar de bicicleta, leva a uma construção de novos paradigmas baseados na aprendizagem implícita de sequências em diversos tipos distintos de tarefas motoras que se assemelham as tarefas de vida diária dos indivíduos. A prática física em si é extremamente importante para a aquisição do aprendizado motor, entretanto, há outros métodos complementares, e o treino imaginativo motor é um deles. O treino imaginativo motor leva a uma melhora progressiva da habilidade motora determinada por meio de uma redução do número de erros durante a ação e da variabilidade nos intervalos entre uma resposta e outra durante a tarefa (Pascual-Leone et al., 1995).

O primeiro experimento, referente à uma análise comportamental de uma tarefa de tempo de reação serial (*"finger tapping task"*) baseada em uma árvore de contexto pré-determinada, apresentou resultados que indicam um possível aprendizado mais compatível com a estrutura probabilística na condição de simulação mental. Estes resultados podem ser observados por meio das médias do tempo de reação que decaíram ao longo do blocos experimentais. Como na simulação mental não ocorre a execução de fato da ação imaginada, este efeito pode ser, possivelmente, ocasionado por uma ausência de feedback motor e sensorial, por meio de uma expectativa sensorial. Enquanto no grupo de execução motora, o indivíduo utiliza os feedback sensorial e motor como uma forma de correção do evento futuro, e o grau de preparação motora gera uma expectativa sobre o evento futuro, tendo uma influência significativa nos eventos de probabilidades variáveis.

O modelo de cópia de eferência do comando motor permite que o sistema nervoso mantenha a estabilidade dos sistemas motores prevendo e corrigindo os

atrasos temporais de feedback sensorial durante a ação motora (Wilson, Thomas & Maruff, 2002). Cada vez que um comando motor é emitido para a realização de um movimento, uma cópia de eferência do comando motor é produzida em paralelo fazendo com que o sistema seja capaz de estimar as consequências sensoriais do movimento subsequente (Frith, Blackmore & Wolpert, 2000). O fato da prática imaginativa motora permitir a recordação e a simulação do resultado de uma ação sem nenhuma saída motora (Frith, Blackmore & Wolpert, 2000) faz com que seja possível a predição do resultado esperado de um ato motor na vida cotidiana (Wolpert, Doya & Kawato, 2003). O resultado encontrado no experimento comportamental acerca do efeito do passado imediato no decorrer da sequência probabilística da tarefa proposta pode ser explicado por esse modelo, já que os elementos variáveis da sequência (V2 e V3) levam a uma quebra do padrão sequencial, consequentemente fazendo com que o evento passado influencie na escolha da resposta do evento futuro.

Levando em conta todos os resultados obtidos até então, no segundo experimento, a tarefa comportamental foi realizada concomitantemente ao uso do EEG, para assim, observar a ocorrência de possíveis potenciais evocados após os estímulos auditivos. Foram captados sinais neurais referentes aos potenciais P200 e P300, ambos potenciais positivos e comumente observados após estímulos auditivos, dependendo do tipo de estímulo apresentado e sua respectiva probabilidade de ocorrência. Uma possível maneira de explicar a ocorrência desses potenciais na tarefa de tempo de reação serial proposta é com base na teoria da Atualização do Contexto ou do Modelo Mental. Esta teoria apresenta a amplitude do P300 como uma representação da atividade cerebral relacionada à atualização de uma representação de estímulos relevantes apresentados durante uma tarefa motora comportamental (Donchin, 1981). Em outras palavras, após o processamento sensorial inicial dos estímulos recebidos, um processo de comparação ocorre na memória para verificar se o estímulo atual é o mesmo que o anterior, não ocorrendo alteração do modelo mental atual, assim gerando potenciais

evocados sensoriais, como o P200, entretanto, se o estímulo for diferente, o modelo neural é atualizado gerando um P300. O contexto mental é remodelado pela atualização do modelo neural que é sensível à apresentação de estímulos anteriores, pois os eventos não-alvo ou mais frequentes durante a tarefa utilizam a atenção para modificar ou não a representação neural atual, embora as demandas da tarefa também possam alterar os resultados (Donchin et al., 1986). Na tarefa comportamental proposta em nosso estudo, por ser guiada por uma estrutura probabilística baseada em um modelo de árvore de contexto, em que os estímulos auditivos ocorrem com distintas probabilidades, pode-se observar a presença do P200 e do P300 seguindo essa lógica da frequência de aparecimento dos estímulos auditivos ao longo da tarefa proposta em ambos os grupos experimentais.

Por fim, em uma vivência de simulação mental, o ser humano é capaz de criar um ambiente imaginário em sua mente, em que podem reproduzir as memórias adquiridas ao longo da existência, experimentar situações alternativas a sua condição física e emocional, e até mesmo criar novas realidades, sendo possível simular diferentes cenários e resultados para problemas ou desejos pessoais. Tal como no episódio “*San Junipero*” da terceira temporada da série “*Black Mirror*” no qual as pessoas mais idosas e/ou incapacitadas têm a oportunidade de viver por algumas sessões semanais em um mundo simulado por inteligência artificial capaz de manter as memórias e as capacidades e habilidades físicas e sociais ativas para estabelecer uma melhor qualidade de vida, além de experimentar vivências em diferentes décadas, e por fim optar ou não por viver eternamente neste ambiente perfeito, idílico e simulado pós-morte (Brooker, 2015). Se pensarmos que na simulação mental, nos treinos da prática imaginativa, o indivíduo tem total controle sobre suas escolhas e ações dentro da simulação, e precisa estar consciente de que está imaginando e vivendo uma realidade fictícia em sua mente, e o fato de recriar esse ambiente imaginário por inúmeras vezes seja capaz de melhorar as habilidades motoras no mundo real, isso tudo torna esta prática habitual em inovadora e de fácil acessibilidade, com grandes perspectivas nas áreas clínica e de reabilitação

(neurológica, gerontológica, por exemplo), na área profissional (esportiva, musical, artística, entre outros) e nas atividades corriqueiras do dia-a-dia. Desta forma, o paradigma experimental proposto nesta tese representa uma contribuição de extrema relevância para pesquisas científicas futuras e medidas de saúde pública. Sua implementação traz diversas vantagens, tornando-se uma metodologia acessível, de fácil aplicação e com uma relação custo-benefício altamente favorável. Com a capacidade de avaliar a atividade do córtex humano por meio de protocolos de treinamento imaginativo, esse paradigma oferece possibilidades promissoras nas áreas de reabilitação neurológica e para um envelhecimento saudável. Os resultados obtidos a partir desses protocolos de treinamento imaginativo podem levar a um aprimoramento significativo das habilidades motoras, proporcionando assim um aumento da qualidade de vida da população.

Referências

- Brooker, C. (2015, December 25). *Black Mirror*. Netflix. <https://www.netflix.com/title/70264888>
- Donchin, E. (1981). Surprise!? Surprise? *Psychophysiology*, 18(5), 493–513. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8986.1981.tb01815.x>
- Donchin, E., Miller, G.A., & Farwell, L.A. (1986). Chapter 6 The endogenous components of the event-related potential - a diagnostic tool? In *Progress in Brain Research* (pp.87-102). Elsevier. [http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6123\(08\)64299-5](http://dx.doi.org/10.1016/s0079-6123(08)64299-5)
- Frith, C. D., Blakemore, S.-J., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 355(1404), 1771–1788. <https://doi.org/10.1098/rstb.2000.0734>
- Pascual-Leone, A., Nguyet, D., Cohen, L. G., Brasil-Neto, J. P., Cammarota, A., & Hallett, M. (1995). Modulation of muscle responses evoked by transcranial magnetic stimulation during the acquisition of new fine motor skills. *Journal of Neurophysiology*, 74(3), 1037–1045. <https://doi.org/10.1152/jn.1995.74.3.1037>

Wilson, P. H., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491–498. <https://doi.org/10.1177/088307380201700704>

Wolpert, D. M., Doya, K., & Kawato, M. (2003). A unifying computational framework for motor control and social interaction. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 358(1431), 593–602. <https://doi.org/10.1098/rstb.2002.1238>

APÊNDICE A - TCLE COMPORTAMENTAL

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

TÍTULO DO PROJETO: Treino Imaginativo monitorado por EEG na avaliação de alterações funcionais induzidas pela lesão do plexo braquial - PROJETO PILOTO

PESQUISADORA RESPONSÁVEL: Patrícia Silva de Camargo

Prezado(a) voluntário(a),

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa acima citado. Após ser esclarecido(a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, rubriche cada uma das folhas e assine ao final deste documento. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma. Este projeto tem como objetivo avaliar os efeitos das alterações induzidas pela lesão do plexo braquial e possibilitar uma nova abordagem de avaliação para a lesão, no caso, o treino imaginativo (imaginar com os olhos fechados uma determinada tarefa sem movimentar nenhuma parte do corpo).

Se você concordar em participar, primeiramente, serão aplicadas fichas para a coleta de dados pessoais, avaliação funcional do seu membro superior e um questionário sobre capacidade de imaginar diferentes ações. Em seguida você será alocado por meio de sorteio em um grupo experimental que realizará ou não o treino imaginativo. Após esta etapa seguirá a fase experimental na qual será apresentado a você um número (1, 2 ou 3) na tela do computador. Na tarefa a ser realizada, cada número apresentado na tela será referente a um dedo de sua mão direita. O número 1 é referente ao dedo indicador, o número 2 ao dedo médio e o número 3 ao dedo anelar. Quando o número for apresentado na tela você deverá apertar o mais rápido possível a tecla indicada com o número referente. Você se sentará então em uma cadeira confortável, de frente para uma tela onde será apresentada a tarefa.

Antes do início do experimento, o pesquisador lerá para você as instruções a respeito da tarefa em que irá participar. Os procedimentos a serem realizados durante este experimento não oferecem nenhum tipo de risco ou desconforto a você. Todo o equipamento computacional e o local utilizado serão previamente higienizados com cloro e álcool 70%; além disso você irá receber, ao entrar na sala de experimento, um par de luvas descartável, um par de pro-pé descartável e será disponibilizado álcool em gel para assepsia das mãos. Durante a etapa de avaliação funcional é totalmente garantido a você o direito de não responder a perguntas que causem qualquer tipo de constrangimento. A participação nesta pesquisa não oferece nenhum benefício direto a você. Informamos ainda que você não será compensado financeiramente por sua participação.

As medidas coletadas em sua avaliação serão armazenadas em um banco de dados público, ficando disponíveis para futuras pesquisas científicas. Este banco de dados possui medidas de segurança que permitirão o seu total anonimato.

Caso você necessite de maiores informações, você deve contatar a pesquisadora responsável pelo estudo, Patrícia Silva de Camargo, através do telefone (11) 3091-9911 (Laboratório Ciência da Cognição) ou pelo e-mail patriciascamargo@usp.br. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa - Seres Humanos (CEP) do Instituto de Biociências da USP – localizado na Rua do Matão – travessa 14, nº 321, Cidade Universitária – São Paulo/SP, CEP 05508-090, telefone: 3091 8761 ou e-mail cepibusp@ib.usp.br.

É garantido a você o direito de não aceitar participar do experimento. Se você aceitar, também garantimos que você é livre para interromper o experimento a qualquer momento, ou retirar seu consentimento quando quiser, sem ser prejudicado(a) de nenhuma forma por isso. Afiançamos também que, se você aceitar participar, você será identificado(a) durante as análises deste experimento apenas com um número permitindo assim o seu total anonimato. As informações obtidas

serão analisadas em conjunto com a de outros participantes, não sendo divulgada a identidade de nenhum participante.

Como pesquisadora responsável, comprometo-me a utilizar os dados coletados somente para esta pesquisa, justificando o destino e a necessidade de utilização para estudos. E cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/2012 e suas complementares, do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado(a) a respeito das informações sobre a pesquisa acima citada que li ou que foram lidas para mim. Eu discuti com a pesquisadora Patrícia Silva de Camargo e/ou sua equipe sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade, sigilo e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades ou prejuízos e sem a perda de atendimento nesta instituição ou de qualquer benefício que eu possa ter adquirido.

Eu receberei uma via deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e a outra ficará com a pesquisadora responsável por essa pesquisa.

Nome do Participante:

Assinatura do Participante:

Nome do Pesquisador:

Assinatura do Pesquisador:

DATA: ___/___/___

APÊNDICE B - TCLE EEG

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

TÍTULO DO PROJETO: Treino Imaginativo monitorado por EEG na avaliação de alterações funcionais induzidas pela lesão do plexo braquial

PESQUISADORA RESPONSÁVEL: Patrícia Silva de Camargo

Prezado(a) voluntário(a),

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa acima citado. Após ser esclarecido(a) sobre as informações a seguir, no caso de aceitar fazer parte do estudo, rubrique cada uma das folhas e assine ao final deste documento. Em caso de recusa, você não será penalizado(a) de forma alguma. Este projeto tem como objetivo avaliar os efeitos das alterações induzidas pela lesão do plexo braquial e possibilitar uma nova abordagem de avaliação para a lesão, no caso, o treino imaginativo (imaginar com os olhos fechados uma determinada tarefa sem movimentar nenhuma parte do corpo).

Se você concordar em participar, primeiramente, serão aplicadas fichas para a coleta de dados pessoais, avaliação funcional do seu membro superior e um questionário sobre capacidade de imaginar diferentes ações. Em seguida você será alocado por meio de sorteio em um grupo experimental que realizará ou não o treino imaginativo. Após esta etapa seguirá a fase experimental na qual será apresentado a você um número (1, 2 ou 3) na tela do computador. Na tarefa a ser realizada, cada número apresentado na tela será referente a um dedo de sua mão direita. O número 1 é referente ao dedo indicador, o número 2 ao dedo médio e o número 3 ao dedo anelar. Quando o número for apresentado na tela você deverá apertar o mais rápido possível a tecla indicada com o número referente. Você se sentará então em uma cadeira confortável, de frente para uma tela onde será apresentada a tarefa.

Simultaneamente à sua participação na tarefa, sua atividade cerebral será registrada através de eletroencefalografia (EEG). Para tal, você será instruído previamente a lavar seu couro cabeludo e cabelos com água e xampu neutro. Depois, sua cabeça será medida com fita métrica e um ponto será marcado com um lápis dermatográfico, cuja marca sai facilmente com água. Uma touca com eletrodos de superfície será colocada em sua cabeça, e será aplicado gel através de uma seringa com a ponta da agulha romba, assim sem a possibilidade de machucar o couro cabeludo. Você poderá lavar os cabelos após o experimento se assim o desejar. Você se sentará então em uma cadeira confortável, de frente para uma tela onde será apresentada a tarefa. A touca será ajustada à sua cabeça. Esta etapa costuma durar aproximadamente 30 minutos. Antes do início do experimento, o pesquisador lerá para você as instruções a respeito da tarefa em que irá participar. Os procedimentos a serem realizados durante este experimento não oferecem nenhum tipo de risco ou desconforto a você. Todo o equipamento computacional e o local utilizado serão previamente higienizados com cloro e álcool 70%; além disso, será disponibilizado álcool em gel para assepsia das mãos. Durante a etapa de avaliação funcional é totalmente garantido a você o direito de não responder a perguntas que causem qualquer tipo de constrangimento. A participação nesta pesquisa não oferece nenhum benefício direto a você. Informamos ainda que você não será compensado financeiramente por sua participação. As medidas coletadas em sua avaliação serão armazenadas em um banco de dados público, ficando disponíveis para futuras pesquisas científicas. Este banco de dados possui medidas de segurança que permitirão o seu total anonimato.

Caso você necessite de maiores informações, você deve contatar a pesquisadora responsável pelo estudo, Patrícia Silva de Camargo, através do telefone (11) 3091-9911 (Laboratório Ciência da Cognição) ou pelo e-mail patriciascamargo@usp.br. Se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa, entre em contato com o Comitê de Ética em Pesquisa - Seres Humanos (CEP) do Instituto de Biociências da USP – localizado na Rua do Matão –

travessa 14, no 321, Cidade Universitária – São Paulo/SP, CEP 05508-090, telefone: 3091 8761 ou e-mail cepibusp@ib.usp.br. É garantido a você o direito de não aceitar participar do experimento. Se você aceitar, também garantimos que você é livre para interromper o experimento a qualquer momento, ou retirar seu consentimento quando quiser, sem ser prejudicado(a) de nenhuma forma por isso. Afiançamos também que, se você aceitar participar, você será identificado(a) durante as análises deste experimento apenas com um número permitindo assim o seu total anonimato. As informações obtidas serão analisadas em conjunto com a de outros participantes, não sendo divulgada a identidade de nenhum participante.

Como pesquisadora responsável, comprometo-me a utilizar os dados coletados somente para esta pesquisa, justificando o destino e a necessidade de utilização para estudos. E cumprirei os requisitos da Resolução CNS 466/2012 e suas complementares, do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde.

TERMO DE CONSENTIMENTO

Acredito ter sido suficientemente informado(a) a respeito das informações sobre a pesquisa acima citada que li ou que foram lidas para mim. Eu discuti com a pesquisadora Patrícia Silva de Camargo e/ou sua equipe sobre a minha decisão em participar nesse estudo. Ficaram claros para mim quais são os propósitos do estudo, os procedimentos a serem realizados, seus desconfortos e riscos, as garantias de confidencialidade, sigilo e de esclarecimentos permanentes. Ficou claro também que minha participação é isenta de despesas. Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, sem penalidades ou prejuízos e sem a perda de atendimento nesta instituição ou de qualquer benefício que eu possa ter adquirido.

Eu receberei uma via deste termo de consentimento livre e esclarecido (TCLE) e a outra ficará com a pesquisadora responsável por essa pesquisa.

Nome do Participante:

Assinatura do Participante:

Nome do Pesquisador:

Assinatura do Pesquisador:

DATA: ___/___/___

ANEXO A - INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDIMBURGO

INVENTÁRIO DE DOMINÂNCIA LATERAL DE EDIMBURGO (Oldfield, 1971).

Nome: _____

Assinale:

(+) = realiza maioria das vezes

(++) = sempre realiza

Faz-se uma marca em cada coluna, caso a probabilidade de uso da mão direita e esquerda seja a mesma.

		ESQUERDA	DIREITA
1	Escrever		
2	Desenhar		
3	Arremessar		
4	Uso de tesouras		
5	Escovar os dentes		
6	Uso de faca (sem garfo)		
7	Uso de colher		
8	Uso de vassoura (mão superior)		
9	Acender um fósforo (mão do fósforo)		
10	Abrir uma caixa (mão da tampa)		

Cotação:

Contabilizam-se 2 pontos em "++" e 1 ponto em "+"

Quociente de lateralidade: $QL = (D - E / D + E) \times 100$

ANEXO B - KVIQ10-P

Questionário de avaliação da imagem visual e cinestésica

Procedimentos

O objetivo deste questionário é determinar o grau com que o indivíduo é capaz de visualizar e sentir movimentos imaginários. Para o teste não há resposta certa ou errada. Este questionário não deve ser auto-administrado. Foi desenvolvido para ser aplicado a pessoas com mobilidade reduzida ou portadores de deficiência física. Todos os movimentos são realizados com o paciente sentado. O questionário abrange uma escala de imagens visuais e imagens cinestésicas.

A versão completa (ou longa) (KVIQ-20) é composta por vinte itens (dez movimentos em cada escala) e a versão simplificada (ou curta) inclui dez itens (cinco em cada escala). Para cada item, o examinador informará ao paciente como proceder. << Primeiro, pedirei que você assuma uma posição inicial. Segundo, será pedido a você para fazer um movimento sentado, apenas uma vez, seguindo minhas instruções (*repita que o movimento deve ser feito apenas uma vez; os participantes observam o movimento enquanto o examinador faz a demonstração e então o repetem*). Terceiro, você retornará à posição inicial e imaginará que está fazendo o movimento que acabou de executar. De fato, você não o executará, somente irá imaginá-lo. Finalmente, será pedido a você para dar uma nota numa escala de 0 a 5 a respeito da força da imagem visual (Itens V1 ao V10) ou o quanto parecem verdadeiras as sensações associadas com os movimentos imaginados (Itens S1 ao S10)>>.

A escala de graduação deverá ser apresentada verbalmente usando os descritores e não os números. Em alguns casos (pessoas com dificuldades para se comunicar), a escala poderá ser apresentada visualmente, mas sempre use os descritores (esconda os números). O participante deverá imaginar o movimento da perspectiva da primeira pessoa ou uma perspectiva interna (como se ele/ela

estivesse executando o movimento). Para se certificar disso, peça à pessoa para descrever o que ele/ela vê ou sente. Por exemplo, no item 4 (flexão do cotovelo), a pessoa deverá mencionar que ele/ela vê a parte interna ou a palma da mão. Na dúvida, repita esta pergunta com outros movimentos. Quando o avaliado for incapaz de realizar o movimento em um lado do corpo, (exemplo, pacientes que sofreram AVC) peça para que ele o faça do outro lado; então, o instrua a simular os movimentos com o membro afetado. Anote em sua ficha de evolução os itens avaliados com o último procedimento (a execução do movimento em um lado e simulação do outro). O procedimento deve ser feito de modo confortável, sem que se induza a dor (como elevação do ombro para pessoas com AVC). Quando não for possível o movimento em ambos os lados (exemplo, paraplegia, tetraplegia), a descrição verbal do movimento junto com a demonstração visual feita pelo examinador é sugerida. Para promover uma perspectiva de primeira pessoa, a demonstração pode ser feita com o examinador sentado lado a lado do examinando em vez de frente a frente.

Os itens devem ser apresentados conforme a ordem do questionário e de acordo com o domínio das mãos e dos pés do paciente. Contudo, não use os termos dominante e não-dominante; substitua-os na descrição dos movimentos por “lado direito” e “lado esquerdo” quando apropriado. Note que, para pacientes com AVC, o lado dominante é determinado a partir de seu status pré-AVC, e não se esqueça de especificar os lados dominante e afetado em sua folha de registro. No processo de validação do questionário, a escala da imagética visual é apresentada primeiro, seguida pela imaginária cinestésica (Malouin et al. 2007).

OBS.: Os testes devem ser alternados entre o lado dominante e não-dominante. Porém, se quiser comparar os lados, itens relacionados aos membros inferiores e superiores (*escala de imagens visuais: 3V, 4V, 5V e 7V, 8V, 9V, 10V e escala de imagens cinestésicas: 3C, 4C, 5C e 7C, 8C, 9C, 10C*) pode-se testá-los bilateralmente como segue: Itens 3,4 e 5 como indicados e depois do item 5, repetir

os itens 3, 4 e 5 do outro lado; desse modo, depois dos itens 7, 8, 9, e 10 refazê-los também do outro lado. Esse procedimento evita a repetição do mesmo movimento.

Descritores da Imagética Motora e Visual

Escala da Imagem Visual

5	4	3	2	1
Imagem Bastante Forte	Imagem Forte	Imagem Razoável	Imagem Embaçada	Sem Imagem

Escala da Imagem Cinestésica

5	4	3	2	1
Tão verdadeiro como se fosse real	Verdadeiro	Quase verdadeiro	Um pouco verdadeiro	Não parece de verdade

QUESTIONÁRIO (KVIQ-20)	Movimentos	QUESTIONÁRIO (KVIQ-10)
1V 1C	Flexão/extensão do pescoço	
2V 2C	Flexão do ombro	
3V nd 3C nd	Flexão do ombro para a frente	3V nd 3C nd
4V d 4C d	Flexão do cotovelo	
5V d 5C d	Ponta dos dedos	5V d 5C d

*Repetir exercícios 3,4 e 5 com o outro lado.		
6V 6C	Flexão do tronco para frente	6V 6C
7V nd 7C nd	Extensão do joelho	
8V d 8C d	Afastamento do quadril	8V d 8C d
9V nd 9C nd	Batida de pé	9V nd 9C nd
10V d 10C d	Rotação externa do pé	
*Repetir exercícios 7,8,9 e 10 com o outro lado.		

Legenda:

C	Cinestésico
V	Visual
d	dominante
nd	não-dominante
*	para avaliação bilateral

Referências:

Malouin F, Richards CL, Jackson PL, Lafleur MF, Durand A, Doyon J. The Kinesthetic and Visual Imagery Questionnaire (KVIQ) for Assessing Motor Imagery in Persons with Physical Disabilities: A reliability and Construct Validity Study. Journal of Neurologic Physical Therapy 2007; 31:20-29.

Questionário de avaliação da imagem visual e cinestésica

Escala da Imagem Visual

5	4	3	2	1
Imagem Bastante Forte	Imagem Forte	Imagem Razoável	Imagem Embaçada	Sem Imagem

Item 1V – Flexão/extensão do pescoço

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Balance a cabeça o máximo que puder, primeiro para baixo depois para cima;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 2V – Flexão dos ombros

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Erga o máximo que puder os ombros sem mexer a cabeça;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 3V nd – Flexão dos ombros para frente

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Levante o braço esquerdo e continue levantando-o o máximo que puder;

3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 4V d – Flexão do cotovelo

1. Sente-se com as costas retas e a cabeça para frente, com o braço direito esticado para frente e com a palma da mão para cima;
2. Dobre o cotovelo direito como se fosse tocar seu ombro desse mesmo lado;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 5V d – Ponta dos dedos

1. Sente-se com as costas retas e a cabeça para frente, com o braço direito esticado para frente e com a palma da mão para cima;
2. Com a mão direita, começando pelo dedo indicador, toque a ponta de cada dedo com o polegar por aproximadamente um segundo;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

** Repita os exercícios 3,4 e 5 do outro lado.*

Questionário de avaliação da imagem visual e cinestésica

Escala da Imagem Visual

5	4	3	2	1
Imagem Bastante Forte	Imagem Forte	Imagem Razoável	Imagem Embaçada	Sem Imagem

Item 6V – Flexão do tronco para frente

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Dobre o corpo até a altura da cintura, movendo o corpo para frente o máximo que puder e volte à posição inicial;
3. De volta ao começo, imagine o movimento e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 7V nd – Extensão do joelho

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Estique sua perna, levantando a perna esquerda o mais reto possível;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 8V d – Afastamento do quadril

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;

2. Mova o pé direito de um lado ao outro por mais ou menos 30 cm e volte ao começo;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a qualidade do movimento imaginado.

Item 9V nd – Batidas de pé

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Com a perna esquerda toque o chão com a ponta do pé por três vezes, com intervalo de um segundo entre as batidas, sem tirar o calcanhar do chão;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

Item 10V d – Rotação externa do pé

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Com a perna direita, gire o pé para o lado, o máximo que puder sem mexer o calcanhar;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e concentre-se na força ou clareza da imagem;
4. Indique na escala a força de sua imaginação.

** Repita os exercícios 7,8, 9 e 10 do outro lado.*

Questionário de avaliação da imagem visual e cinestésica

Escala da Imagem Cinestésica

5	4	3	2	1
Tão verdadeiro como se fosse real	Verdadeiro	Quase verdadeiro	Um pouco verdadeiro	Não parece de verdade

Item 1C – Flexão/extensão do pescoço

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Balance a cabeça o máximo que puder, primeiro para baixo depois para cima;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 2C – Flexão dos ombros

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Erga o máximo que puder os ombros sem mexer a cabeça;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 3C nd – Flexão dos ombros para frente

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Levante o braço esquerdo e continue levantando-o o máximo que puder;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 4C d – Flexão do cotovelo

1. Sente-se com as costas retas e a cabeça para frente, com o braço direito esticado para frente e com a palma da mão para cima;
2. Dobre o cotovelo direito como se fosse tocar seu ombro desse mesmo lado;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 5C d – Ponta dos dedos

1. Sente-se com as costas retas e a cabeça para frente, com o braço direito esticado para frente e com a palma da mão para cima;
2. Com a mão direita, começando pelo dedo indicador, toque a ponta de cada dedo com o polegar por aproximadamente um segundo;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

** Repita os exercícios 3,4 e 5 do outro lado.*

Questionário de avaliação da imagem visual e cinestésica

Escala da Imagem Cinestésica

5	4	3	2	1
Tão verdadeiro como se fosse real	Verdadeiro	Quase verdadeiro	Um pouco verdadeiro	Não parece de verdade

Item 6C – Flexão do tronco para frente

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Dobre o corpo até a altura da cintura, movendo o corpo para frente o máximo que puder e volte à posição inicial;
3. De volta ao começo, imagine o movimento e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 7C nd – Extensão do joelho

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Estique sua perna, levantando a perna esquerda o mais reto possível;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 8C d – Afastamento do quadril

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Mova o pé direito de um lado ao outro por mais ou menos 30 cm e volte ao começo;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 9C nd – Batidas de pé

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Com a perna esquerda toque o chão com a ponta do pé por três vezes, com intervalo de um segundo entre as batidas, sem tirar o calcanhar do chão;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

Item 10C d – Rotação externa do pé

1. Sente-se com as costas retas, a cabeça para frente e as mãos sobre as coxas;
2. Com a perna direita, gire o pé para o lado, o máximo que puder sem mexer o calcanhar;
3. Retorne ao começo. Agora, imagine o movimento realizado e preste atenção se você sente o movimento como se fosse de verdade;
4. Indique na escala o quanto o movimento que você imaginou parece verdadeiro.

** Repita os exercícios 7,8, 9 e 10 do outro lado.*

ANEXO C - RESULTADO DA ANÁLISE COMPORTAMENTAL (n=40)

Foi realizada a coleta e a análise dos dados referentes a tarefa de tempo de reação serial com um total de quarenta indivíduos saudáveis divididos em dois grupos experimentais: grupo de execução motora (n=20) e grupo de simulação mental (n=20).

A tabela 1A apresenta comparação entre as características demográficas e funcionais do total de 40 participantes contendo média e desvio padrão.

Tabela 1A - Características demográficas e funcionais dos participantes do experimento comportamental (n=40) contendo valores de média e desvio padrão.

	Execução Motora	Simulação Mental	Total
Idade (anos)	25,45±4,81	26±4,74	25,72±4,72
Gênero	F(12); M(8)	F(12); M(8)	F(24); M (16)
Instrumento Musical	S(15); N(5)	S(10); N(10)	S(25); N(15)
Inventário de Edimburgo QL	82,37±14,42	83,25±19,89	83,31±17,15
KVIQP-10V	31,4±5,9	27,15±9,07	29,27±7,85
KVIQP-10C	29,75±7,97	27±7,42	28,37±7,73

F = feminino; M = masculino; S = sim; N = não; QL = quociente de lateralidade. KVIQP-10V = questionário de imagética motora visual ; KVIQP-10C = questionário de imagética motora cinestésica.

Ambos os grupos apresentaram similaridades em relação às características demográficas, clínicas e funcionais. Todos os voluntários apontaram dominância manual à direita (pontuação > 50 na escala) e aptidão em execução motora e simulação mental (escore varia de 10 a 50 para cada escala, com pontuações maiores indicando maior aptidão em simulação mental).

A figura 1A abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrões contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos experimentais do grupo de execução motora em voluntários saudáveis (n=20). Na análise de GLM foram observados efeitos de Probabilidade ($F_{19,3}=32,991$ com

$p < 0,001$), de Bloco ($F_{19,4}=4,135$ com $p=0,002$) e de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=2,087$ com $p=0,015$). O teste post hoc de Tukey não mostrou efeito significativo ($p < 0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F2 aumentaram ligeiramente no segundo e terceiro blocos, as de V2 aumentaram no segundo bloco, as de V3 no segundo, terceiro e quinto blocos, enquanto as de F1 se mantiveram baixas ao longo dos blocos.

Figura 1A - Desempenho do Grupo de Execução Motora (n=20) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

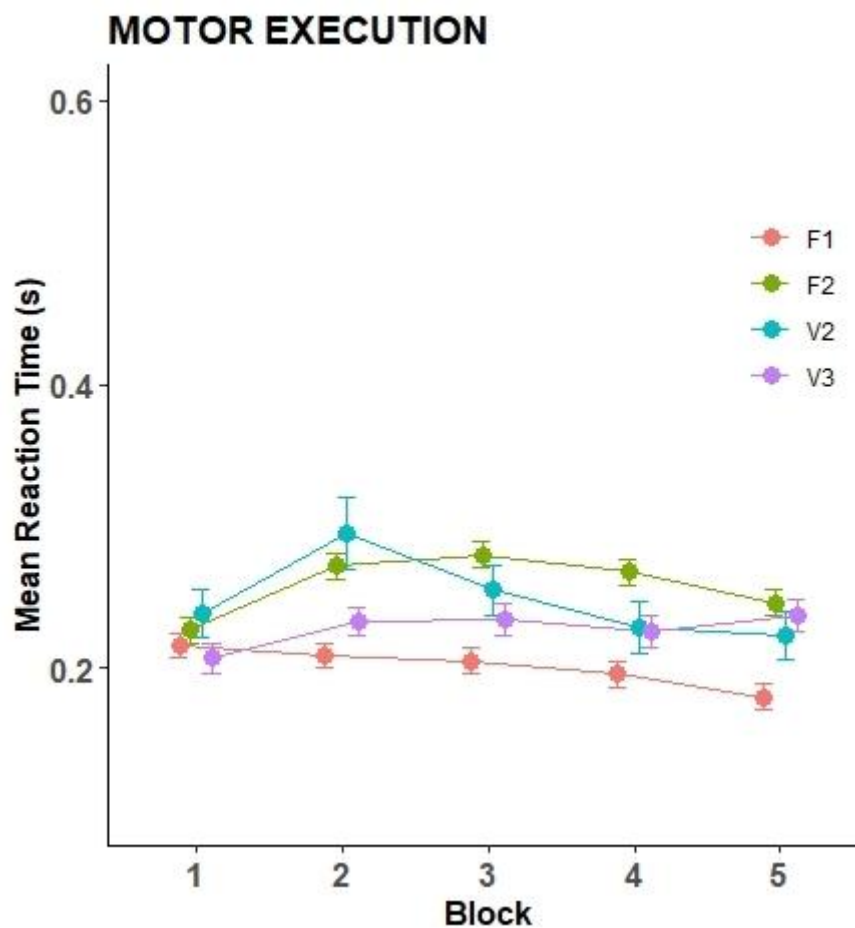


Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de execução motora.

A figura 2A abaixo apresenta as médias do tempo de reação e os erros padrões contendo os elementos F1, F2, V2 e V3 em cada um dos cinco blocos

experimentais do grupo de simulação mental em voluntários saudáveis (n=20). Na análise de GLM foram observados efeitos de Bloco ($F_{19,4}=133,218$ com $p<0,001$) e de Probabilidade ($F_{19,3}=7,355$ com $p<0,001$), mas não de interação Bloco e Probabilidade ($F_{19,12}=1,232$ com $p=0,254$). O teste post hoc de Tukey não mostrou efeito significativo ($p<0,05$) para Probabilidade e Bloco. Pode-se observar que as médias dos tempos de reação de F1, F2, V2 e V3 decaíram ao longo dos blocos, e o V2 se manteve um pouco maior que os outros ao longo dos blocos.

Figura 2A - Desempenho do Grupo de Simulação Mental (n=20) em Função das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos da Árvore de Contexto.

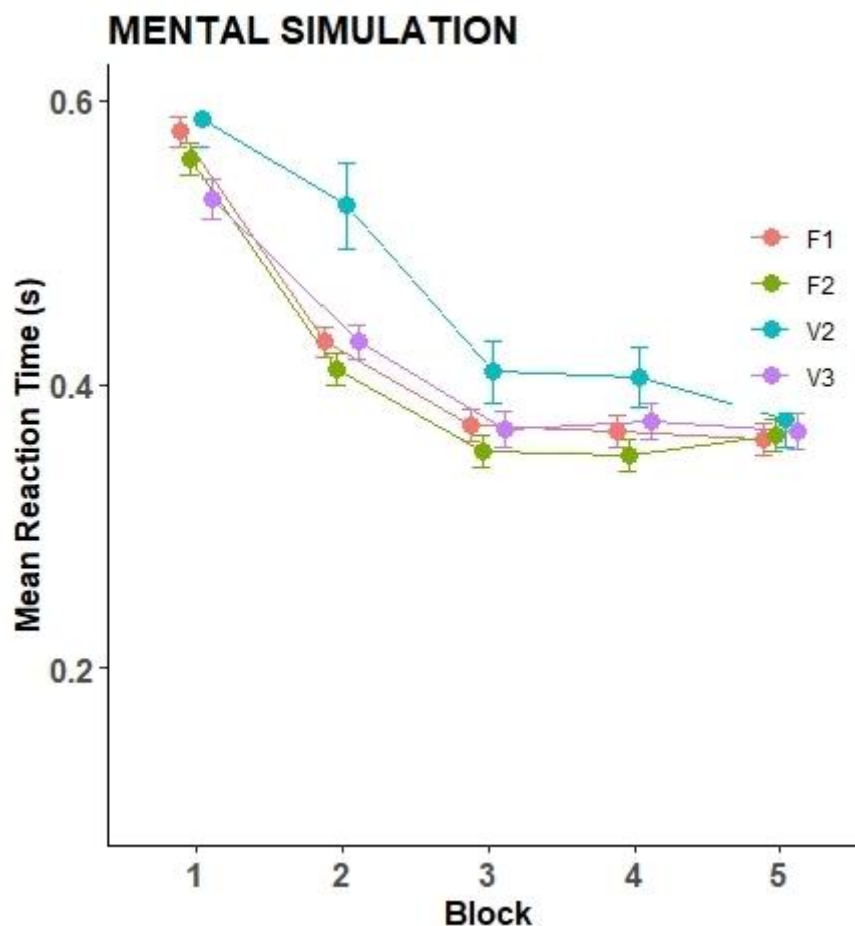


Gráfico de Pontos: Média e erro padrão dos tempos de reação das probabilidades de ocorrência dos eventos F1, F2, V2 e V3 nos blocos experimentais do grupo de simulação mental.