



Anderson Barcelos de Melo

**Integração multissensorial: uma avaliação
Experimental da resolução de conflitos visuais-
proprioceptivos e a sensação
de embodiment.**

Dissertação de Mestrado

Dissertação apresentada como requisito parcial
para obtenção do grau de Mestre pelo Programa de
Pós-Graduação em Psicologia (Psicologia Clínica)
do Departamento de Psicologia da PUC-Rio.

Orientador: Thomas Eichenberg Krahe
Co-orientador: Jesus Landeira-Fernandez

Rio de Janeiro,
agosto de 2024.



Anderson Barcelos de Melo

**Integração multissensorial: uma avaliação
experimental da resolução de conflitos visuais-
proprioceptivos e a sensação
de embodiment**

Dissertação apresentada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre pelo Programa de Pós-
Graduação em Psicologia (Psicologia Clínica) da PUC-
Rio. Aprovada pela Comissão Examinadora abaixo.

Prof. Thomas Eichenberg Krahe

Orientador

Departamento de Psicologia - PUC-Rio

Profa. Helenice Charchat Fichman

Departamento de Psicologia - PUC-Rio

Profa. Angie Pique Alboreda de Mgalhaes

UNESA

Rio de Janeiro, 15 de agosto de 2024.

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

Anderson Barcelos de Melo

Graduou-se em Engenharia Cartográfica pelo Instituto Militar de Engenharia em 2004, e em Psicologia pela UNESA, em 2020. Obteve grau de Mestre em Psicologia Clínica pela PUC-Rio, em 2024.

Ficha Catalográfica

Melo, Anderson Barcelos de

Integração multissensorial : uma avaliação experimental da resolução de conflitos visuais-proprioceptivos e a sensação de embodiment / Anderson Barcelos de Melo ; orientador: Thomas Eichenberg Krahe ; co-orientador: Jesus Landeira-Fernandez. – 2024. 89 f. : il. color. ; 30 cm

Dissertação (mestrado)–Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Psicologia, 2024.
Inclui bibliografia

1. Psicologia – Teses. 2. Integração multissensorial. 3. Embodiment. 4. Conflito visual-proprioceptivo. 5. Terapia do espelho. 6. Ilusão da caixa-espelho. I. Krahe, Thomas Eichenberg. II. Landeira-Fernandez, Jesus. III. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Psicologia. IV. Título.

CDD: 150

Dedico este trabalho à minha família, pelo amor incondicional e apoio que sustentaram essa caminhada.

Agradecimentos

Aos meus pais, Mariza e Vagner, pelo imenso amor e carinho que me dedicaram na árdua tarefa de criar um filho. Ao meu irmão, Denis, pela amizade, parceria e companheirismo eternos.

À minha esposa, Juliana, e aos meus filhos, Pedro e Raul, pelo amor e carinho que me sustentam.

À PUC-Rio, por reunir uma infraestrutura e corpo técnico de excelência, que me proporcionaram um grande aprendizado.

Ao meu orientador, prof. Thomas. Obrigado por todos os ensinamentos e pela compreensão! Foi uma honra ter sido seu aluno!

Ao prof. Jesus Landeira-Fernandez, pela forma solícita e amistosa com que me recebeu desde o primeiro contato e pelo apoio na materialização deste trabalho.

Ao professor Luís Anunciação, por todas as contribuições e apoio.

À professora Helenice, pelas excelentes aulas ministradas.

À professora Angie, pelo carinho, por todo conhecimento transmitido e por proporcionar o passo inicial nessa jornada.

A todos os professores, colegas de pós-graduação e funcionários que tive a honra e o privilégio de conhecer durante esse período.

Aos meus amigos, pelo suporte em todos os momentos.

A todos que participaram dos experimentos. Sem vocês esse trabalho não teria sido possível.

Muito obrigado a todos vocês!

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

Resumo

Melo, Anderson Barcelos de; Krahe, Thomas Eichenberg. **Integração Multissensorial: Uma Avaliação Experimental da Resolução de Conflitos Visuais-Proprioceptivos e a Sensação de Embodiment.** Rio de Janeiro, 2024. 89p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Psicologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Para formar uma percepção unificada do estado do organismo e de suas relações com o meio, o sistema nervoso combina informações de diversas modalidades sensoriais por meio de processos de integração multissensorial. Em algumas ocasiões, dados de diferentes canais sensoriais podem fornecer informações conflitantes sobre um determinado aspecto da realidade, como nos experimentos de desenho guiado por espelho e na ilusão da caixa-espelho, nos quais as estimativas posicionais informadas pela visão e pela propriocepção entram em conflito. Além da contribuição direta dos dados sensoriais para a formação do conflito visual-proprioceptivo, também participa do processo o *embodiment*, que se refere à sensação subjetiva de possuir e dispor do próprio corpo e de suas partes. Este estudo integrou os paradigmas experimentais da caixa-espelho e do desenho guiado por espelho para examinar se o aprendizado da tarefa de desenho poderia reduzir o conflito visual-proprioceptivo e se essa diminuição se refletiria na tarefa com a caixa-espelho e no *embodiment*. Os resultados confirmaram o viés posicional produzido pela ilusão da caixa-espelho e indicaram que o aprendizado da tarefa do desenho guiado por espelho pode reduzir o conflito visual-proprioceptivo. Além disso, diferenças significativas entre mulheres e homens foram observadas nos dois experimentos, especialmente na tarefa de desenho, sugerindo diferenças entre os sexos na resolução de conflitos visuais-proprioceptivos pelos processos de integração multissensorial. Por fim, potenciais implicações teóricas e clínicas dos resultados são discutidos brevemente, como por exemplo, a possível participação dos processos perceptuais aqui estudados na etiologia de transtornos alimentares como a bulimia e a anorexia nervosa.

Palavras-chave

Integração multissensorial; *embodiment*; conflito visual-proprioceptivo; terapia do espelho; ilusão da caixa-espelho; desenho guiado por espelho; recalibração visual-proprioceptiva.

Abstract

Melo, Anderson Barcelos de; Krahe, Thomas Eichenberg (Advisor). **Multisensory Integration: An Experimental Evaluation of Visual-proprioceptive Conflicts Resolution and the Embodiment Sensation.** Rio de Janeiro, 2024. 89p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Psicologia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

To form a unified and coherent perception of the organism's state and its relationship with the surrounding environment, the nervous system combines information from various sensory modalities through multisensory integration processes. Occasionally, data from two or more sensory channels may provide conflicting information about a particular feature of reality. This is evident in experiments using the mirror-guided drawing task and the mirror-box illusion, where positional estimates informed by vision and proprioception conflict. In addition to the direct contribution of sensory data to the formation of visual-proprioceptive conflict, embodiment plays a crucial role. Embodiment refers to the subjective sensation of possessing and controlling one's own body and its parts. This study integrated the experimental paradigms of the mirror-box and mirror drawing tasks to examine whether learning the mirror drawing task could reduce visual-proprioceptive conflict. The aim was to determine if a reduction induced by the mirror drawing task would be reflected in the mirror-box task. The results confirmed the visual bias produced by the mirror-box illusion and provided evidence that visual-proprioceptive conflict can be reduced by learning the mirror drawing task. Additionally, significant differences were observed between women and men in both experiments, particularly in the drawing task, suggesting sex differences in the experience and resolution of visual-proprioceptive conflicts through multisensory integration processes. Finally, potential theoretical and clinical implications of the results are briefly discussed, including the possible involvement of the perceptual processes studied here in the etiology of eating disorders, such as bulimia and anorexia nervosa.

Keywords

Multisensory integration; visual-proprioceptive conflict; mirror drawing; mirror-box illusion; embodiment; mirror therapy; visual-proprioceptive recalibration.

Sumário

1. Introdução	11
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. Metodologia	16
3.1 Participantes	16
3.2 Materiais	16
3.2.1 Caixa-espelho.....	16
3.2.2 Caixa de desenho.....	17
3.2.3 Tablet e Modelo da Estrela.....	18
3.3 Experimentos	19
3.3.1 Reprodução de posição alvo	19
3.3.2 Questionário para avaliar o <i>embodiment</i>	21
3.3.3 Desenho guiado pelo espelho	22
3.4 Procedimentos	24
4. Análise de dados	26
5. Resultados	28
5.1 Captura visual	28
5.2 Aprendizagem da tarefa de desenho	29
5.3 Interação entre os experimentos.....	32
5.3.1 Evolução dos erros ao longo dos dias.....	32
5.3.2 Correlação entre erros e índices	34
5.5 <i>Embodiment</i>	35
6. Discussão	37
6.1 Mecanismos da captura visual	37
6.2 Recalibração visual-proprioceptiva e captura visual	38
6.3 <i>Embodiment</i> e captura visual	40

7. Conclusão	42
8. Referências Bibliográficas.....	44
9. Anexos.....	51
9.1 Anexo 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Resolução nº 466/2012 – Conselho Nacional de Saúde.....	51
9.2 Anexo 2 – Script em python para gerar o modelo de estrela .	53
9.3 Anexo 3 - Questionário sobre a experiência de <i>embodiment</i> .	59
9.4 Anexo 4 – Script em python para analisar as imagens da tarefa de desenho guiado por espelho.....	60
9.5 Anexo 5 – Tabela de comparações <i>post hoc</i> da seção 5.3.1.	66
9.6 Anexo 6 – Tabela com as correlações entre erros e índices (seção 5.3.2)	69
9.7 Anexo 7 – Artigo submetido para a revista <i>Frontiers in Psychology</i>	70

Lista de Figuras

Figura 1. Exemplo de configuração usada na terapia do espelho.	12
Figura 2. Desenho esquemático do aparato caixa-espelho.....	17
Figura 3. Desenho esquemático da caixa de desenho.....	18
Figura 4. Foto do tablet com o modelo da estrela.	19
Figura 5. Imagem do posicionamento do participante para a tarefa de reprodução da posição alvo.	20
Figura 6. Diagrama esquemático da tarefa de reprodução da posição alvo.....	21
Figura 7. Diagrama esquemático da tarefa de desenho guiado por espelho.....	23
Figura 8. Imagem do posicionamento do participante para a tarefa de desenho guiado por espelho.	23
Figura 9. Fluxograma da sequência dos experimentos executados em um dia.	24
Figura 10. Fluxograma do protocolo experimental completo.	25
Figura 11. Gráfico de barras dos erros cometidos na tarefa de reprodução de posição alvo.	29
Figura 12. Gráficos de linha dos índices médios de conformidade e velocidade na tarefa de desenho guiado por espelho.	30
Figura 13. Painel com a evolução de desempenho de um dos participantes na tarefa de desenho guiado por espelho.	31
Figura 14. Gráficos de linhas dos erros médios na tarefa de reprodução de posição alvo.	33
Figura 15. Gráficos de dispersão mostrando a correlação entre os erros na tarefa de reprodução da posição alvo e os índices de conformidade e velocidade obtidos na tarefa de desenho.	35
Figura 16. Boxplot dos escores de embodiment no primeiro e terceiro dia.	36

Introdução

A integração multissensorial é uma característica fundamental do sistema nervoso, referindo-se à capacidade de combinar informações de diferentes modalidades sensoriais para formar uma percepção unificada e coerente (Murray et al., 2016; Ramachandran et al., 2019). Esse processamento de informações provenientes de diferentes sistemas sensoriais permite a execução de duas funções essenciais: a vinculação de diferentes atributos a um objeto (por exemplo, cor, forma e cheiro) e a abstração de características comuns a esses objetos (Ramachandran et al., 2019). Com a combinação dessas funcionalidades, emerge a noção de *embodiment*, relacionada à percepção de propriedade e à representação do próprio corpo e de suas partes (Longo et al., 2008; Medina et al., 2015).

O conceito de *embodiment* – ou corporificação, em tradução livre – refere-se à ideia de que os processos cognitivos estão profundamente enraizados nas interações do corpo com o ambiente e de que a percepção está intrinsecamente ligada tanto a processos sensoriais e motores quanto à experiência subjetiva (Craighero, 2014; Fuchs & Schlimme, 2009; Shapiro, 2019; Varela et al., 2016). De uma perspectiva mais específica, que será adotada neste trabalho, *embodiment* representa a sensação subjetiva associada a possuir e dispor do próprio corpo (Longo et al., 2008; Medina et al., 2015). Sob essas óticas, diversos autores têm mostrado a importância da pesquisa sobre processos de integração multissensorial e *embodiment* para a compreensão dos mecanismos da percepção (Ambron & Medina, 2023; Botvinick & Cohen, 1998; Carey et al., 2019; Diers et al., 2015; Ding et al., 2023; Giroux et al., 2019; Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Leach & Medina, 2022; Liu & Medina, 2017, 2018; Longo et al., 2008; Medina et al., 2015; Miall & Cole, 2007; Otsuru et al., 2014; Vecchiato et al., 2015). Nesse sentido, vários trabalhos têm apontado a relevância desses processos em aplicações clínicas, como por exemplo: no tratamento da ‘dor do membro fantasma’ em amputados (Collins et al., 2018; Kundi & Spence, 2023; Ramachandran et al., 1995; Schmalzl et al., 2013); para a melhoria de função motora após acidente vascular encefálico (Kundi & Spence, 2023; Lee & Lee, 2019; Thieme et al., 2018); no tratamento de distúrbios de imagem corporal e alimentares (Griffen et al., 2018); no tratamento de sintoma motor em esclerose múltipla (Tekeoglu Tosun et al.,

2021); e no tratamento para síndrome de dor regional complexa, um tipo de dor crônica que afeta principalmente as extremidades do corpo (Al Sayegb et al., 2013).

Nas pesquisas que investigam os processos de integração multissensorial e *embodiment*, assim como em suas aplicações clínicas, destaca-se a técnica da terapia do espelho, inicialmente usada para o alívio da dor do “membro fantasma” e posteriormente estendida para o tratamento de outras condições (Dohle et al., 2019). A técnica consiste no posicionamento vertical de um espelho, à altura do tórax, paralelo e quase coincidente ao plano sagital mediano do indivíduo, de forma que este possa posicionar o membro afetado atrás do espelho e o membro não afetado à frente. Assim, o paciente enxerga apenas o reflexo do membro não afetado no espelho (**figura 1**). O efeito terapêutico é atingido pela execução de movimentos e pela aplicação de estímulos táteis ao membro não afetado, ao mesmo tempo em que o paciente recebe informações visuais do espelho. Nas pesquisas iniciais com pacientes amputados, foi relatado que o movimento e o estímulo, pareados com a visão do reflexo no espelho, provocaram a mesma percepção no “membro fantasma” (Ramachandran & Rodgers-Ramachandran, 1996; Ramachandran et al., 1995).



Figura 1. Exemplo de configuração usada na terapia do espelho.

Apesar de a eficácia da técnica ter sido corroborada por diversos estudos, os mecanismos que explicam o funcionamento da intervenção ainda não foram completamente elucidados (Dohle et al., 2019). Ao realizarmos um movimento, a propriocepção fornece um feedback sensorial que atenua os sinais enviados pelo córtex motor e pré-motor. Nos pacientes amputados esse feedback inexistente. A

terapia do espelho reintroduz a informação faltante induzindo a ilusão de que o membro refletido é o próprio membro oculto atrás do espelho, o que ficou conhecido como Feedback Visual por Espelho (Mirror Visual Feedback ; Ramachandran et al., 1995). Assim, o processo de *embodiment* no contexto da terapia do espelho, isto é, a percepção subjetiva de posse e agência sobre o reflexo do espelho, envolve a integração de diversas modalidades sensoriais, como a cinestesia (movimento), o tato, a visão e a propriocepção (Holmes et al., 2004).

O termo propriocepção foi originalmente proposto em 1906, pelo neurofisiologista inglês Sir Charles Sherrington, se referindo à percepção do próprio corpo e de suas partes, em termos de posição e movimento dos músculos, tendões e articulações (Blum et al., 2021; Han et al., 2016; Moon et al., 2021; Stillman, 2002; Tuthill & Azim, 2018). Na literatura, alguns autores utilizam os termos propriocepção e cinestesia como sinônimos (Han et al., 2016; Stillman, 2002), enquanto outros especificam cinestesia como a percepção de movimento (Swanik et al., 2004, 2002). Há ainda o entendimento de que cinestesia é uma submodalidade englobada pela propriocepção (Lephart et al., 1997; Myers et al., 1999). Contudo, o mais comum é que o termo propriocepção seja definido de forma abrangente, incluindo o senso de movimento, em consonância com o conceito original (Blum et al., 2021; Han et al., 2016; Moon et al., 2021; Tuthill & Azim, 2018). Conseqüentemente, em concordância com essa conceitualização, pode-se dizer que a propriocepção desempenha um papel central no *embodiment* ocorrido na terapia do espelho e em análises experimentais similares, como aquelas que investigam os processos de integração perceptual de informações visuais e proprioceptivas conflitantes (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Leach & Medina, 2022; Medina et al., 2015).

Conflitos visuais-proprioceptivos têm sido explorado experimentalmente de algumas formas, como por exemplo no desvio prismático das informações visuais (Canon, 1971), no uso experimental de aparatos similares (caixa-espelho) ao utilizado na terapia do espelho (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Liu & Medina, 2021; Medina et al., 2015) e em tarefas de desenho guiado por espelho (Balslev et al., 2004; Lajoie et al., 1992; Miall et al., 2021). Os experimentos que utilizam a caixa-espelho têm uma configuração que, à semelhança da terapia do espelho, provocam a sobreposição da imagem refletida ao braço oculto. Essas pesquisas tipicamente investigam estimativas posicionais do braço oculto no

interior do aparato, comparando as medidas em condições experimentais com e sem o espelho. Ao realizar a estimativa de distância, o participante usa basicamente as informações da propriocepção, pois não pode ver o braço no interior do aparato. Os resultados desses experimentos têm mostrado consistentemente que os participantes cometem erros maiores na presença do espelho, quando há conflito visual-proprioceptivo. Esse efeito é conhecido como captura visual, pois os erros aumentam sistematicamente na direção da posição informada pela visão (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Liu & Medina, 2021; Medina et al., 2015).

Já as pesquisas que utilizam a tarefa de desenho guiado por espelho consistem no delineamento de formas geométricas específicas (estrela, círculo, linhas abertas etc.), de modo que o participante não veja diretamente a mão que executa o desenho, utilizando apenas o reflexo no espelho e sua propriocepção como canais aferentes. Curiosamente, pesquisas têm evidenciado que indivíduos que experimentam perda seletiva de sinais aferentes proprioceptivos, ou que têm tais informações degradadas experimentalmente, têm melhor desempenho nestas tarefas do que indivíduos sem o déficit, que por sua vez igualam o desempenho daqueles após treinamento (Balslev et al., 2004; Lajoie et al., 1992; Miall et al., 2021).

Para esclarecer melhor a relação entre a resolução de conflitos visuais-proprioceptivos e a percepção de *embodiment*, integramos as abordagens experimentais da caixa-espelho e do desenho guiado por espelho. A principal hipótese foi a de que a aprendizagem da tarefa de desenho guiado por espelho poderia diminuir o conflito visual-proprioceptivo associado ao *embodiment*, o que seria refletido em um menor efeito de captura visual nas tarefas com a caixa-espelho. Adicionalmente, uma vez que estudos anteriores sugerem diferenças em processos perceptuais de representação espacial e *embodiment* entre mulheres e homens (Barnett-Cowan et al., 2010; Egsgaard et al., 2011; Ling et al., 2006; Pratarelli & Steitz, 1995), também investigamos se tais diferenças podem ser encontradas na execução dos experimentos.

2

Objetivos

2.1

Objetivo geral

Investigar se a resolução do conflito visual-proprioceptivo observado após o treinamento da tarefa de desenho guiado por espelho implica uma redução no efeito de captura visual e no *embodiment* observados nas tarefas com a caixa-espelho.

2.2

Objetivos específicos

– Avaliar se o efeito de captura visual é observado na tarefa de estimativa de distância da caixa-espelho.

– Mensurar a melhoria do desempenho dos participantes na tarefa de desenho guiado por espelho;

– Examinar como a melhoria na tarefa do desenho influencia o efeito de captura visual e o *embodiment*.

– Investigar possíveis diferenças entre homens e mulheres nos resultados dos experimentos.

3

Metodologia

3.1

Participantes

O estudo foi aprovado pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CEP/CONEP, #63845022.3.0000.5281), garantindo que todos os procedimentos realizados estavam em conformidade com as diretrizes éticas estabelecidas. Foram recrutados 15 participantes, sendo 7 do sexo feminino e 8 do sexo masculino (idade média $42,3 \pm 3,69$), todos destros, sem problemas visuais ou com a visão corrigida. Antes de iniciar qualquer procedimento, todos os participantes foram devidamente informados sobre as tarefas que executariam durante o estudo. Além disso, foi solicitado que todos assinassem um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE, **anexo 1**), conforme preconiza a Resolução nº 466/2012 do Conselho Nacional de Saúde (CNS).

3.2

Materiais

3.2.1

Caixa-espelho

É o aparato no qual foi realizada a tarefa de estimativa de distância (reprodução de posição alvo). Consiste em um paralelepípedo de madeira de 45cm x 45cm x 20cm (**figura 2**), que foi posicionado em uma mesa com sua face horizontal inferior (45cm x 45cm). Uma das faces verticais contém uma adaptação na qual pode ser colocado e removido um espelho de 45cm x 30cm. As faces verticais adjacentes à face do espelho são abertas, para permitir o acesso ao interior da estrutura, tanto por parte do participante, ao inserir seu braço esquerdo, como do pesquisador, para realizar as medições. Cada face de madeira foi construída com 2mm de espessura.

Na face horizontal inferior interna da caixa fixou-se uma folha de papel milimetrado tamanho A2 e foram marcadas as posições 5, 12 e 26 cm. Na face superior da caixa-espelho, foi fixado um retângulo de papelão com o desenho de uma seta. Esta seta aponta diretamente para a posição de 12 cm na face inferior da

caixa, indicando a posição alvo que o participante deve reproduzir com seu dedo indicador esquerdo. Para assegurar que os participantes não recebam pistas visuais inadvertidas sobre a posição de seu dedo indicador esquerdo, foi fixado um pano preto de 150 cm x 100 cm sobre o aparato. Este pano cobre completamente o braço esquerdo do participante, bloqueando qualquer visualização direta ou periférica do braço. Adicionalmente, compõe o conjunto uma placa móvel de madeira de 2mm de espessura e 45cm x 45cm, na qual também foi fixada uma folha tamanho A2, para manter a textura experimentada pelo participante no interior da caixa-espelho.

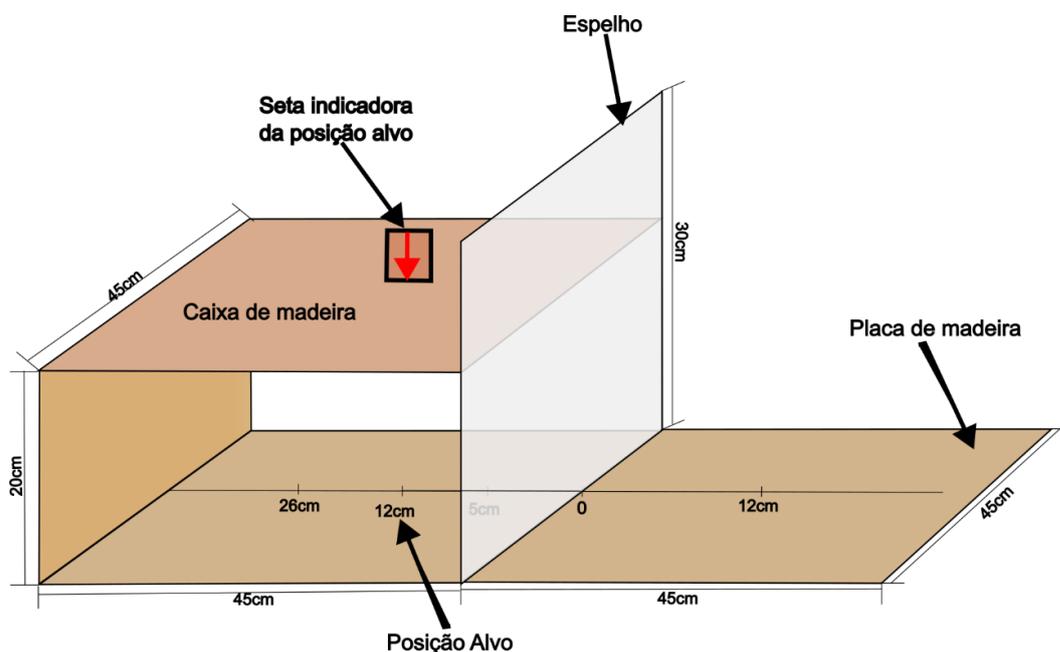


Figura 2. Desenho esquemático do aparato caixa-espelho, pela perspectiva do participante.

3.2.2 Caixa de desenho

É a estrutura que permite, em conjunto com o espelho do aparato caixa-espelho, a realização da tarefa de desenho guiado por espelho. Consiste em uma caixa de madeira, construída com placas de 2mm de espessura, com 45cm de comprimento, 30cm de largura e 20cm de altura. Três das quatro faces verticais são abertas, para permitir o acesso ao interior e a visualização da mão do participante apenas pelo reflexo no espelho (**figura 3**). A estrutura foi posicionada com a face vertical aberta mais longa (45cm x 20cm) paralelamente à direita do espelho (sob a perspectiva do participante), a uma distância de 5 cm, de maneira a impedir a

visualização direta da mão direita do participante. Na face interna inferior da caixa de desenho foi posicionado um tablet com o modelo de uma estrela a ser desenhada.

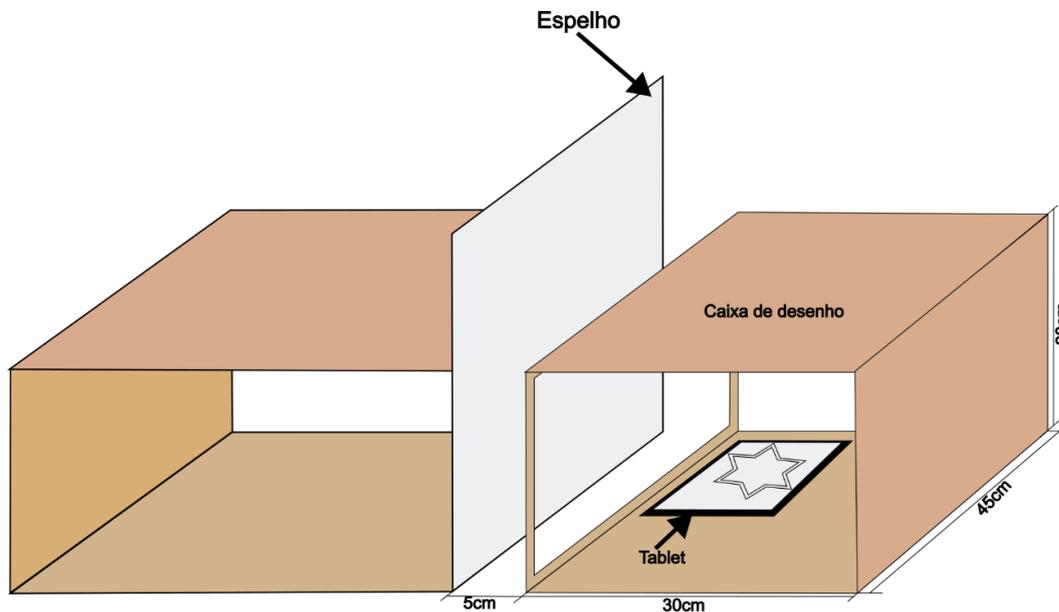


Figura 3. Desenho esquemático da caixa de desenho, pela perspectiva do participante.

3.2.3 Tablet e Modelo da Estrela

Para a execução da tarefa de desenho guiado por espelho, foi utilizado um tablet de 15,5cm x 24,5cm, marca Samsung, modelo “*Galaxy Tab S6 Lite*”, que inclui uma caneta própria para a execução do desenho, e o software nativo “*Samsung Notes*”. O modelo de estrela a ser desenhado, semelhante ao usado por Lajoie et al. (1992), foi gerado computacionalmente por script em python (**anexo 2**), definido como uma imagem de 2490 x 3510 pixels, de tal forma que tivesse a resolução de 300 dpi numa folha tamanho A4. O modelo foi gravado no formato ‘.png’ e posteriormente convertido em arquivo ‘.pdf’. Com isso, quando o modelo foi aberto no tablet, se apresentou com dimensões circunscritas a um círculo de 13cm de diâmetro (**figura 4**).

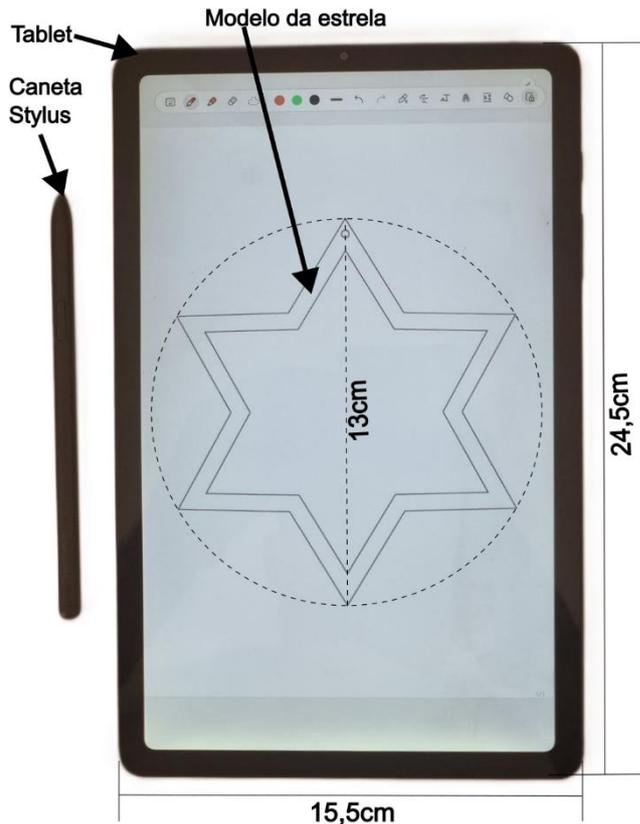


Figura 4. Foto do tablet com o modelo da estrela.

3.3 Experimentos

3.3.1 Reprodução de posição alvo

Esta tarefa foi executada nas condições ‘com espelho’ e ‘sem espelho’. O braço esquerdo do participante era posicionado no interior da caixa-espelho e coberto pelo pano preto (figura 5), enquanto o braço direito era disposto na placa de madeira à direita do espelho, com o dedo indicador numa posição fixa de 12 cm. Em seguida, o dedo indicador esquerdo do participante, oculto no interior da caixa-espelho, era posicionado pelo pesquisador em 5cm ou 26 cm à esquerda do plano do espelho, alinhado na mesma reta onde o dedo indicador direito estava posicionado (figura 6). Na condição ‘com espelho’, pedia-se que o participante fixasse o olhar no reflexo da sua mão, enquanto na condição ‘sem espelho’ era pedido para que olhasse para o local onde estaria o espelho.

Feito o posicionamento inicial, o participante era instruído a bater os dedos indicadores na placa de madeira e na face inferior interna da caixa-espelho, em sincronia com as batidas de um metrônomo a 2,83 Hz (170 BPM, Medina; Khurana; Coslett, 2015), acionado pelo pesquisador. O participante mantinha esses movimentos enquanto durassem as batidas do metrônomo, por 6 segundos (Holmes et al., 2004). O procedimento teve como objetivo induzir a sensação de embodiment e um maior conflito visual-proprioceptivo, uma vez que a ilusão provocada – de

que o braço refletido no espelho era o próprio braço do participante – implicava uma discrepância entre a posição real do braço esquerdo (5 ou 26cm) e a posição percebida visualmente (12 cm).

A tarefa em si consistiu na tentativa do participante em posicionar seu dedo indicador esquerdo imediatamente abaixo da seta indicadora da posição alvo, isto é, deveria tentar reproduzir, no interior da caixa-espelho, a mesma distância horizontal entre a seta indicadora da posição alvo e o plano do espelho. O participante foi orientado a executar esse movimento de maneira intuitiva e suave, sem mudanças de direção. Ao fim dos 6 segundos de batidas síncronas, o pesquisador emitia o comando verbal “alvo” e o participante posicionava o dedo indicador esquerdo na posição que percebia ser correspondente à posição alvo. Por fim, a posição do dedo esquerdo era registrada em uma planilha, que computava o erro automaticamente, e a tarefa era repetida até que fossem completadas 5 medições para cada posição inicial (5 ou 26 cm) alternadamente, totalizando 10 tentativas.



Figura 5. Imagem do posicionamento do participante para a tarefa de reprodução da posição alvo.

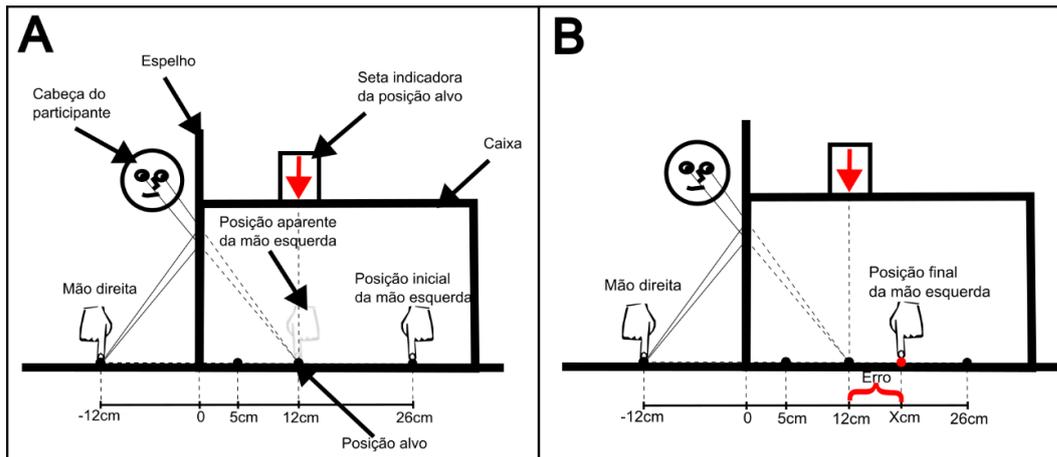


Figura 6. Diagrama esquemático da tarefa de reprodução da posição alvo, pela perspectiva do pesquisador. **(A)** Configuração inicial da tarefa. **(B)** Configuração final da tarefa, após o participante executar o movimento.

3.3.2 Questionário para avaliar o *embodiment*

Longo et al. (2008) utilizaram um questionário com 27 itens numa escala *likert* variando de -3 a +3, com -3 representando “discordo completamente”, 0 representando “não concordo, nem discordo” e +3 representando “concordo completamente”. Os pesquisadores encontraram 4 componentes principais que explicavam a sensação de *embodiment*, com destaque para o componente ‘*embodiment of rubber hand*’ (corporificação da mão de borracha), que explicou a maior parte da variância dos dados e se revelou um bom preditor de uma medida de deslocamento percebido na posição da mão oculta (Longo et al., 2008). Posteriormente, Medina et al. (2015) utilizaram uma adaptação daquele questionário, baseada no componente ‘*embodiment of rubber hand*’, alterando-se as asserções para o paradigma experimental da caixa-espelho.

Para avaliar o *embodiment* relatado na tarefa de reprodução de posição alvo, na condição ‘com espelho’, isto é, para mensurar a percepção subjetiva de que a imagem da mão direita refletida no espelho era a própria mão esquerda do participante, foi aplicado um questionário adaptado de Longo et al. (2008), a partir das 10 sentenças referentes ao componente ‘*embodiment of rubber hand*’ (anexo 3).

3.3.3 Desenho guiado pelo espelho

A tarefa consistiu no delineamento do modelo de estrela carregado no tablet (**figura 4**) com visada indireta, isto é, usando apenas o reflexo no espelho (**figura 7**). Os participantes foram instruídos a iniciar o desenho a partir do pequeno círculo na parte superior do modelo, no sentido (horário ou anti-horário) que achassem mais conveniente, mas que os próximos desenhos deveriam ser feitos no mesmo sentido. Também foram instruídos para manter a caneta sempre tocando a superfície do tablet e para seguir efetivamente o formato da estrela, isto é, para não “cortar os cantos” da estrela interna. Estabeleceu-se a diretriz de que o desenho deveria ser realizado da melhor forma e no menor tempo possível, priorizando-se a qualidade sobre a velocidade. Antes do início da tarefa em si, o participante executou 3 desenhos com visão direta da mão direita e os tempos de execução de cada um foram registrados. A média dessas 3 tentativas foi usada como base de comparação para a velocidade de execução dos desenhos com visão indireta (guiados pelo espelho).

Para a realização do experimento utilizou-se a caixa de desenho descrita na seção 2.2.2 (**figura 3**), o tablet e o modelo de estrela descritos na seção 2.2.3 (**figura 4**). O modelo da estrela era carregado no tablet e a linha para o traçado definida para ter 5 pixels de largura, na cor vermelha. Após isso, o tablet era posicionado no interior da caixa de desenho. O pesquisador, então, posicionava o participante com a mão direita dentro da caixa e com a ponta da caneta imediatamente acima do pequeno círculo que marcava a posição inicial do desenho (**figura 4**). Além disso, era verificado se o participante não conseguiria ver a sua mão diretamente (**figura 8**). A partir dessa configuração, o pesquisador sinalizava o início da tarefa, registrando o tempo de execução e gravando a imagem ao fim. O experimento consistiu na repetição de 10 desenhos em sequência.

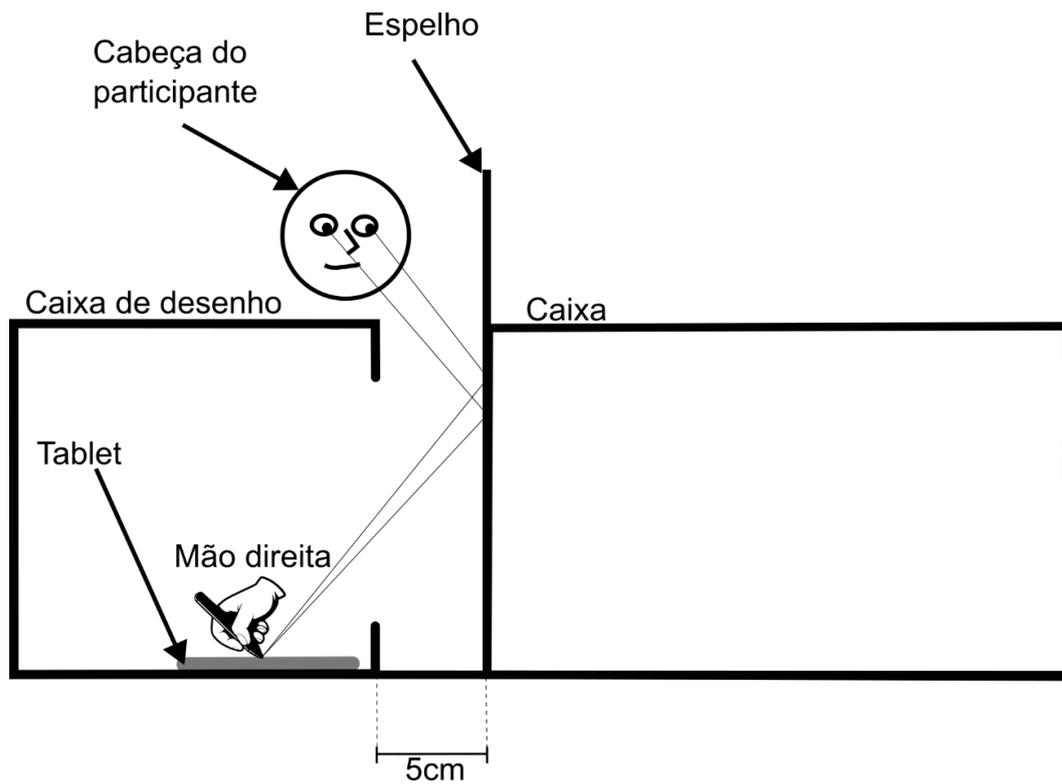


Figura 7. Diagrama esquemático da tarefa de desenho guiado por espelho, pela perspectiva do pesquisador.

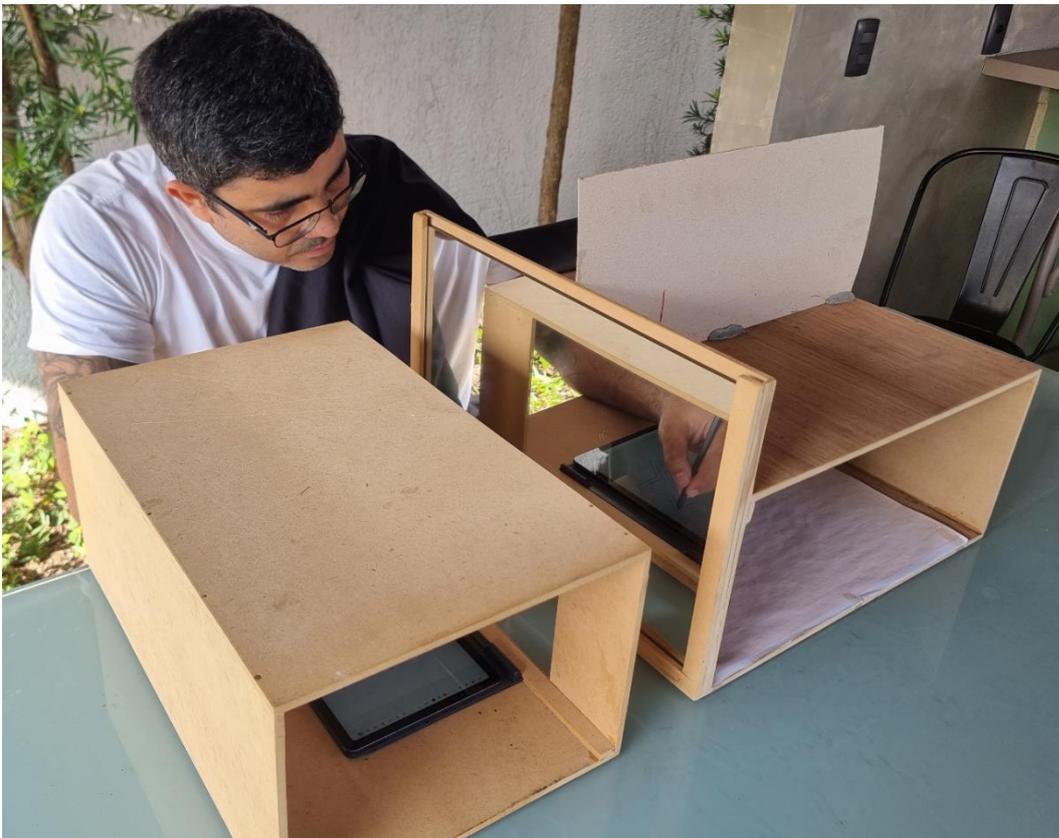


Figura 8. Imagem do posicionamento do participante para a tarefa de desenho guiado por espelho.

3.4 Procedimentos

Um dia de experimentos consistiu, em linhas gerais, na realização da tarefa de reprodução de posição alvo, nas condições ‘sem espelho’ e ‘com espelho’, na execução da tarefa de desenho guiado por espelho e, por fim, na repetição das tarefas de reprodução da posição alvo nas condições ‘com espelho’ e ‘sem espelho’. Esta sequência pode ser visualizada no fluxograma representado abaixo (**figura 9**).

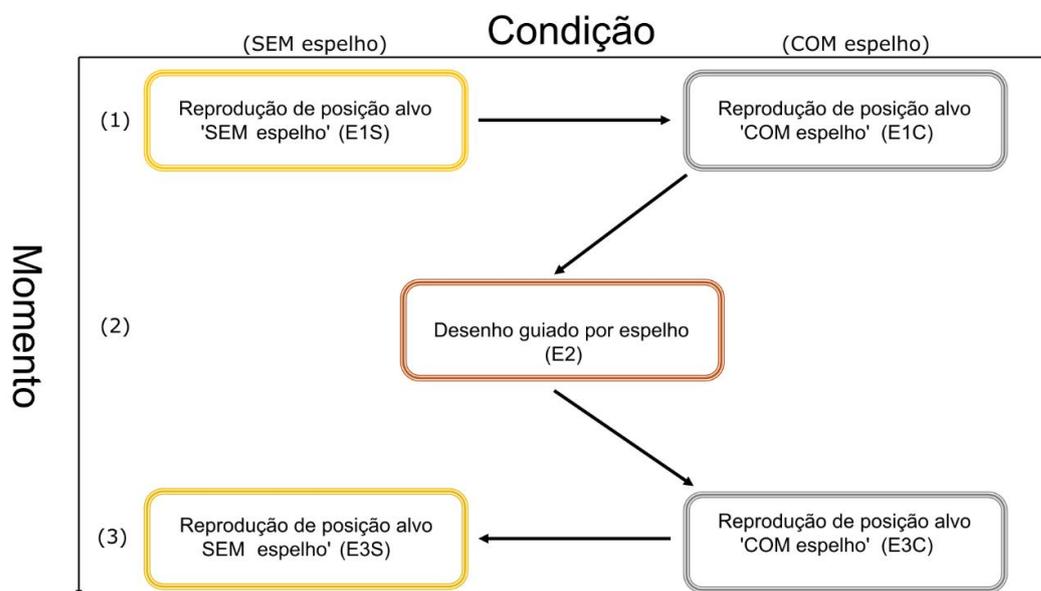


Figura 9. Fluxograma da sequência dos experimentos executados em um dia. Os experimentos foram divididos quanto ao momento de execução (E1, E2, e E3) e à condição da tarefa de reprodução de posição alvo (sem ou com espelho). Portanto, as tarefas seguiram a sequência E1S → E1C → E2 → E3C → E3S.

No primeiro dia, antes do início dos experimentos, era realizada uma sessão de treinamento, para familiarizar o participante com a tarefa de reprodução da posição alvo e com o fenômeno do *embodiment* (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005). Primeiramente, sem a presença do espelho, o participante executava a tarefa de reprodução de posição alvo, com a diferença de que o pesquisador fornecia um feedback dos erros cometidos. Em seguida, o espelho era colocado no aparato e o participante realizava os movimentos síncronos de batida dos dedos, conforme descrito na seção 2.3.1.

O protocolo experimental completo consistiu na repetição das tarefas

representadas no fluxograma da figura 8 em três dias, respeitando-se um intervalo mínimo de 24h e máximo de 72h, aplicando-se um questionário para avaliar a percepção do *embodiment* adaptado de Longo et al. (2008) no primeiro dia, após a execução de E1C, e no último dia, após a execução de E3C (**figura 10**).

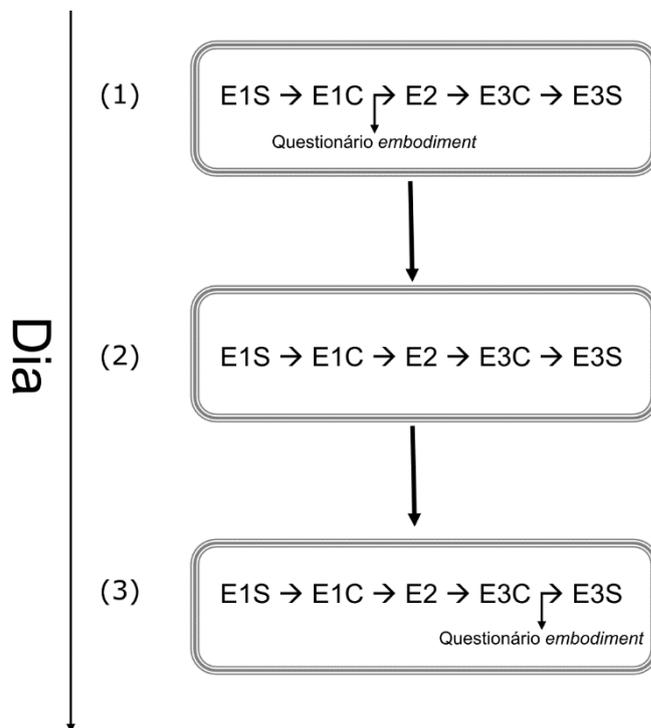


Figura 10. Fluxograma do protocolo experimental completo.

4

Análise de dados

A análise de dados foi realizada com scripts na linguagem *python* (versão 3.10.10) e com o software Jamovi (versão 2.2.5). Primeiramente os dados da tarefa de reprodução de posição alvo foram consolidados programaticamente, para alimentar o programa Jamovi, resultando em uma tabela com 26 colunas (número de identificação e sexo do participante, mais 24 referentes aos fatores intrassujeito) e 75 linhas (5 medidas para cada participante). A variável de interesse nessa tarefa foi o erro cometido na reprodução da posição alvo (**figura 6, B**). Para verificar a ocorrência do efeito de captura visual (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Medina et al., 2015), bem como para analisar a influência da tarefa de desenho guiado por espelho nos erros cometidos, foi conduzida uma ANOVA de medidas repetidas com 1 fator entre sujeitos ('sexo') e 4 fatores intrassujeito, quais sejam: 'espelho' (com e sem espelho), 'posição inicial' (mão esquerda em 5 ou 26cm), 'momento' (antes ou após o desenho da estrela) e 'dia' (dias 1, 2 ou 3).

As imagens gravadas na tarefa de desenho guiado por espelho foram analisadas por um script em *python* (**anexo 4**). Esse programa verificou a quantidade total de pixels vermelhos na imagem e a quantidade de pixels desenhados dentro e fora dos limites do modelo. Com esses números, o script calculou dois índices que poderiam variar entre 0 e 1. O primeiro foi construído para captar a conformidade do desenho com um desenho ideal (**anexo 2**) gerado computacionalmente, definido como uma estrela de 6 pontas de um pixel de largura e equidistante das arestas que delimitam o modelo da estrela (comprimento total de 6764 pixels). O segundo foi calculado como a razão entre o tempo de execução dos desenhos realizados com visão direta da mão e o tempo de execução da tarefa. Para avaliar evolução dos participantes nessa tarefa, foi realizada uma ANOVA de medidas repetidas para cada índice, com o fator intrassujeito 'dia' (dia de experimento 1, 2 ou 3) e entre sujeitos 'sexo'. Adicionalmente, foi realizada uma análise de correlação entre os índices e os erros cometidos na tarefa de reprodução de posição alvo. Os índices foram calculados conforme as equações (1) e (2) abaixo.

$$I_{conf} = \frac{P_{ideal}}{P_{desenho}} \times \frac{P_{dentro}}{P_{desenho}} \quad (1)$$

, onde:

I_{conf} é o índice de conformidade;

$p_{desenho}$ é o total de pixels do desenho executado pelo participante;

p_{dentro} é a quantidade de pixels que foram desenhados dentro dos limites do modelo;

p_{ideal} é o total de pixels do desenho ideal gerado (6764 pixels)

$$I_{vel} = \frac{\Delta t_{base}}{\Delta t_{desenho}} \quad (2)$$

, onde:

I_{vel} é o índice de velocidade;

Δt_{base} é o tempo de execução tomado como base. A média dos 3 tempos medidos nos desenhos executados com visão direta da mão.

$\Delta t_{desenho}$ é o tempo de execução do desenho guiado por espelho.

O índice de conformidade pode ser interpretado como o grau de proximidade entre o desenho do participante e o desenho ideal, com 0 representando nenhuma conformidade (por exemplo, caso o desenho seja feito todo fora do modelo) e 1 representando a máxima conformidade (12 linhas retas idênticas ao desenho ideal). O índice de velocidade é interpretado como o percentual da velocidade base. Logo, um índice de velocidade de 0,5 indica que o participante executou o desenho com a metade da velocidade base (média das velocidades de execução dos 3 desenhos com visada direta).

Com o objetivo de compreender se a percepção de *embodiment* se modificou do início para o final dos experimentos, foi realizado o teste de Wilcoxon para amostras pareadas com os escores do questionário no primeiro e no terceiro dia. Para avaliar se houve diferenças entre os escores das mulheres e dos homens, realizou-se o teste de Mann-Whitney. Por fim, para analisar como os erros na tarefa de reprodução de posição alvo se relacionam com os escores do questionário (**anexo 3**), os valores das duas medidas foram associados, de modo a investigar possíveis correlações entre os valores.

5

Resultados

A ANOVA que avaliou a tarefa de reprodução da posição alvo mostrou efeitos significativos para os fatores intrassujeito ‘espelho’ [$F_{(1,73)} = 31,04$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,298$], ‘posição inicial’ [$F_{(1,73)} = 174,70$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,705$] e ‘dia’ [$F_{(2,146)} = 8,57$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,105$], assim como para o fator entre sujeitos ‘sexo’ [$F_{(1,73)} = 4,09$, $p < 0,05$, $\eta_p^2 = 0,053$]. Também foram encontradas diferenças significativas para os termos de interação ‘espelho’ x ‘posição inicial’ [$F_{(1,73)} = 389,14$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,842$] e ‘momento’ x ‘espelho’ x ‘posição inicial’ x ‘dia’ x ‘sexo’ [$F_{(2,146)} = 4,079$, $p < 0,02$, $\eta_p^2 = 0,053$].

5.1

Captura visual

Como já descrito anteriormente, captura visual se refere ao efeito ilusório na percepção de posição da mão oculta no interior da caixa-espelho. Isso ocorre devido à discrepância entre a posição aparente, percebida visualmente como reflexo no espelho, e a posição real do braço oculto no interior da caixa-espelho, informada via propriocepção (Holmes et al., 2004). Apoiando o que fora relatado anteriormente (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Medina et al., 2015), os resultados descritos na seção 4 confirmam o efeito de captura visual (**figura 11**), uma vez que o termo de interação ‘espelho’ x ‘posição inicial’ foi significativo com $p < 0,001$, explicando 84,2% da variância do erro. Todas as comparações *post hoc* corrigidas pelo método de Bonferroni-Holm foram significativas com $p < 0,001$. Além disso, não foram encontradas diferenças no efeito de captura visual ao longo dos dias, pois o termo de interação ‘espelho’ x ‘posição inicial’ x ‘dia’ não foi significativo [$F_{(2,146)} = 1,097$, $p = 0,337$, $\eta_p^2 = 0,015$].

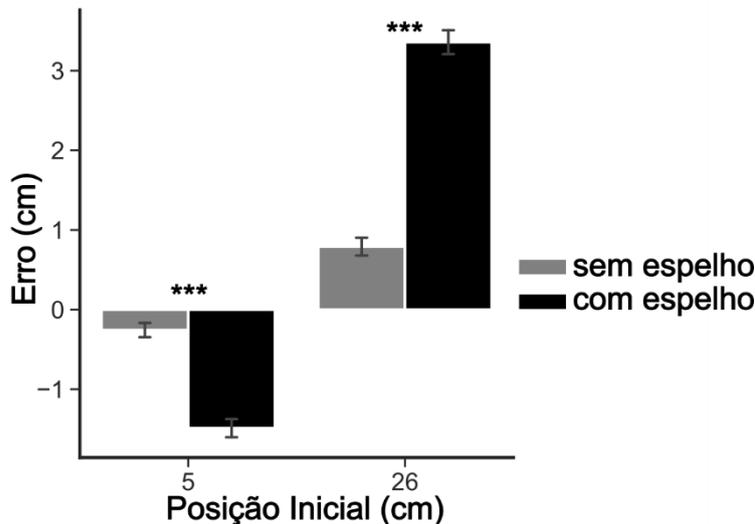


Figura 11. Gráfico de barras dos erros cometidos na tarefa de reprodução de posição alvo, nas condições 'com espelho' e 'sem espelho'. O eixo x mostra a posição inicial da mão esquerda, em centímetros, e o eixo y mostra os erros médios em centímetros. As barras de erro representam o Erro Padrão da Média. *** $p < 0,001$.

5.2

Aprendizagem da tarefa de desenho

A ANOVA de medidas repetidas que examinou o índice de conformidade revelou diferenças significativas para o fator intrassujeito 'dia' [$F_{(2,296)} = 195,6$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,569$], para o fator entre sujeitos 'sexo' [$F_{(1,148)} = 43,2$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,226$] e para o termo de interação 'dia' x 'sexo' [$F_{(2,296)} = 24,2$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,141$]. A análise do índice de velocidade mostrou resultados significativos quanto ao fator intrassujeito 'dia' [$F_{(2,296)} = 136,21$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,473$] e quanto ao fator entre sujeitos 'sexo' [$F_{(1,148)} = 23,1$, $p < 0,001$, $\eta_p^2 = 0,135$], mas não para o termo de interação 'dia' x 'sexo' [$F_{(2,296)} = 1,57$, $p = 0,21$, $\eta_p^2 = 0,01$].

As análises *post hoc* do índice de conformidade para o termo de interação 'dia' x 'sexo' mostraram que todos os participantes melhoraram os índices dia a dia. Entretanto, para os homens, o aumento do índice do dia 2 para o dia 3 teve uma menor magnitude ($\Delta_{dia\ 3 - dia\ 2} = 0,01163$, $p_{Holm} < 0,01$), indicando um possível limite. O termo de interação 'dia' x 'sexo' do índice de velocidade não foi significativo, indicando que as diferenças entre homens e mulheres mantiveram o nível de significância ao longo dos dias. Apesar disso, foram realizadas as análises *post hoc* para avaliar se houve diferenças dentro do mesmo sexo. Essas comparações mostraram que apenas as mulheres apresentaram uma diferença menor entre os índices do dia 3 e do dia 2 ($\Delta_{dia\ 3 - dia\ 2} = 0,03274$, $p_{Holm} < 0,05$),

também indicando um possível limite. Esses resultados podem ser visualizados na **figura 12**. A mudança na conformidade dos desenhos pode ser visualizada qualitativamente na **figura 13**.

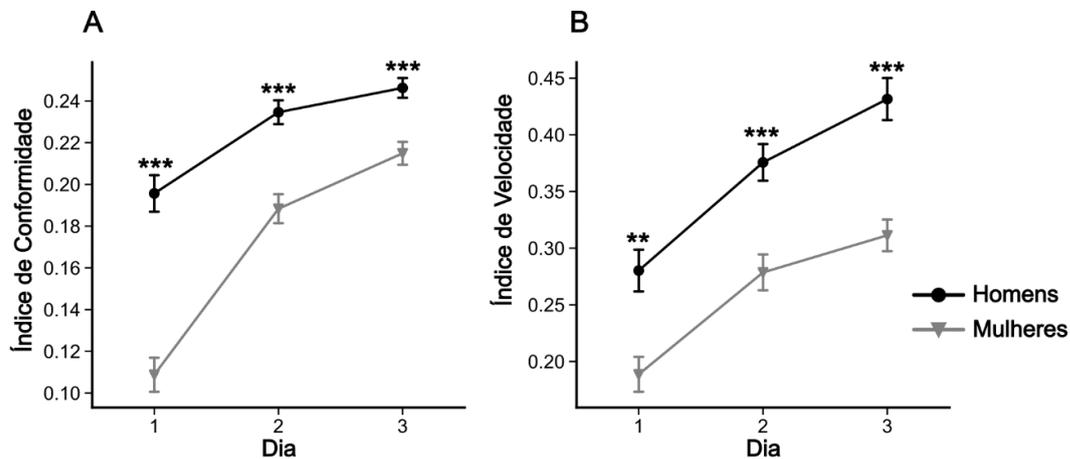


Figura 12. Gráficos de linha dos índices médios de conformidade (A) e velocidade (B) na tarefa de desenho guiado por espelho ao longo dos dias, para homens e mulheres. Os símbolos representam os índices médios \pm Erro Padrão. ** $p < 0,01$ e *** $p < 0,001$.

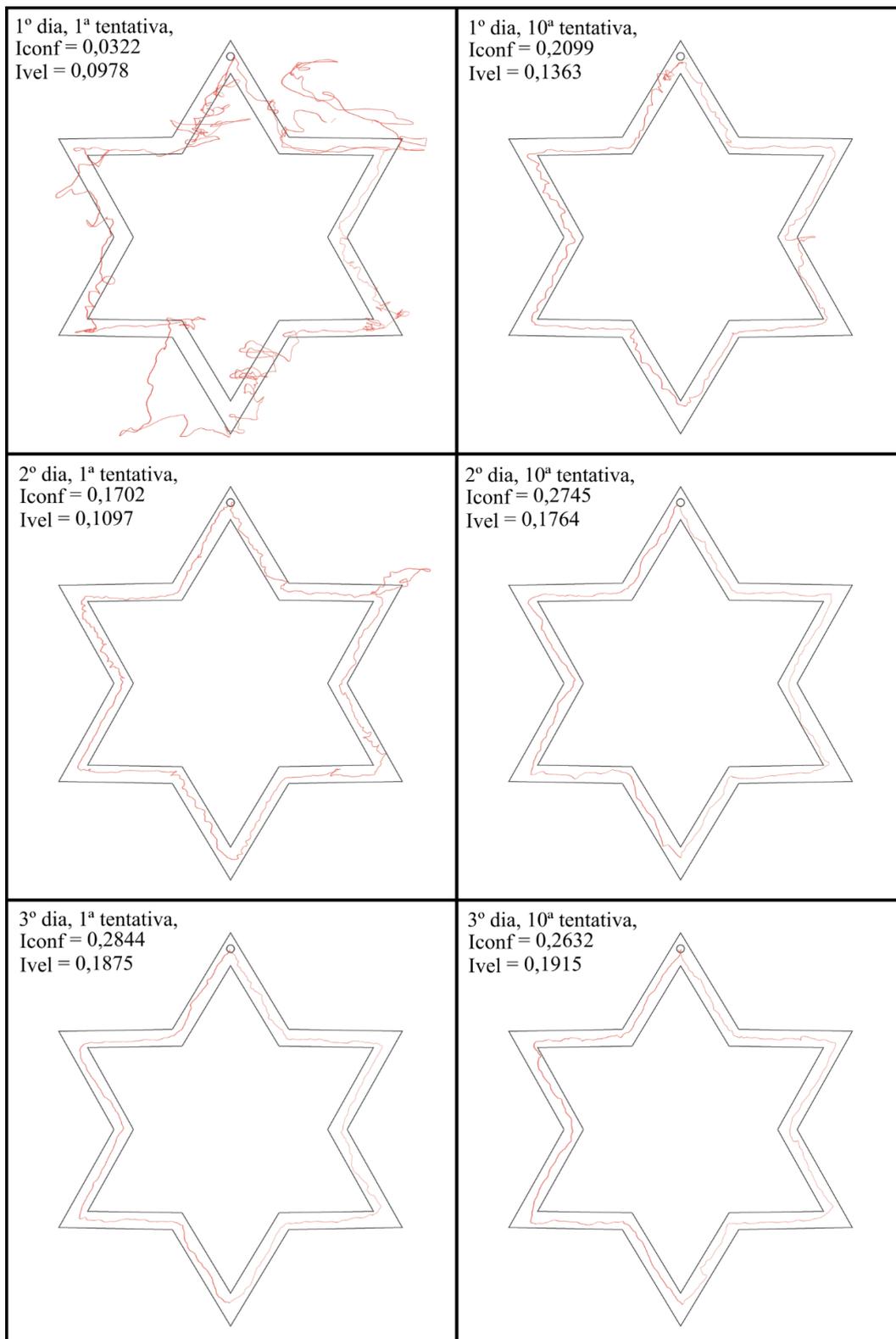


Figura 13. Painel com a evolução de desempenho de um dos participantes na tarefa de desenho guiado por espelho.

5.3

Interação entre os experimentos

5.3.1

Evolução dos erros ao longo dos dias

A possível influência da tarefa de desenho guiado por espelho (E2) sobre a tarefa de reprodução da posição alvo (E1 e E3) foi analisada, primeiramente, a partir das comparações *post hoc* (testes t dois a dois, corrigidos pelo método de Bonferroni-Holm) do termo de interação ‘momento’ x ‘espelho’ x ‘posição inicial’ x ‘dia’ x ‘sexo’ [$F_{(2,146)} = 4,079$, $p < 0,05$, $\eta_p^2 = 0,053$] na ANOVA de medidas repetidas que avaliou a tarefa de reprodução da posição alvo. O número total de comparações possíveis é calculado, primeiramente, pelo produto da quantidade de níveis que cada fator pode assumir ($2 \times 2 \times 2 \times 3 \times 2 = 48$) e, em seguida, pela combinação dois a dois de cada uma dessas possibilidades, que é dado por $\binom{48}{2} = \frac{48 \times 47}{2} = 1128$. A imensa maioria dos pares gerados por mera combinação resulta em comparações irrelevantes para o fenômeno estudado e inflam o valor de p corrigido pelo método de Bonferroni-Holm nas comparações relevantes. Por exemplo, não faria sentido comparar os erros cometidos pelos homens no 1º dia, na posição inicial 5 cm, com os erros cometidos pelas mulheres no 3º dia, na posição inicial 26 cm. A partir da tabela gerada pelo Jamovi com os valores dos testes (estatística t, diferenças médias, graus de liberdade e erro padrão) de todas as 1128 comparações possíveis, foram selecionadas apenas as relevantes e calculados os valores de p ajustados pelo método de Holm.

Inicialmente as comparações de interesse foram divididas em dois grupos quanto à posição inicial (5 ou 26 cm), na condição ‘com espelho’, uma vez que a natureza dos erros era diferente para cada uma dessas categorias. Enquanto na posição inicial de 26cm o participante executava um movimento da esquerda para direita, provocando um erro de sinal positivo, na posição de 5cm o movimento era no sentido oposto, causando um erro de sinal negativo. Esses dois blocos maiores foram subdivididos em três categorias distintas: 1) comparações intrassujeito dentro de um mesmo dia; 2) comparações intrassujeito em dias diferentes; e 3) comparações entre sujeitos (homens x mulheres) dentro de um mesmo dia. Seguindo essa divisão, os testes *post hoc* foram conduzidos para 6 grupos distintos, a saber:

- Intradia e intrassujeito na posição inicial 5 cm (6 comparações);
- Entre dias e intrassujeito na posição inicial 5 cm (24 comparações);
- Intradia e entre sujeitos na posição inicial 5 cm (6 comparações);
- Intradia e intrassujeito na posição inicial 26 cm (6 comparações);
- Entre dias e intrassujeito na posição inicial 26 cm (24 comparações);
- Intradia e entre sujeitos na posição inicial 26 cm (6 comparações);

Do total de 72 comparações, foram encontradas 7 diferenças significativas. Três no grupo entre dias e intrassujeito na posição inicial 26cm (item e) e quatro nos grupos entre sujeitos (itens c e f). Os resultados foram listados na tabela do **anexo 5** e podem ser visualizados no gráfico abaixo (**figura 12**).

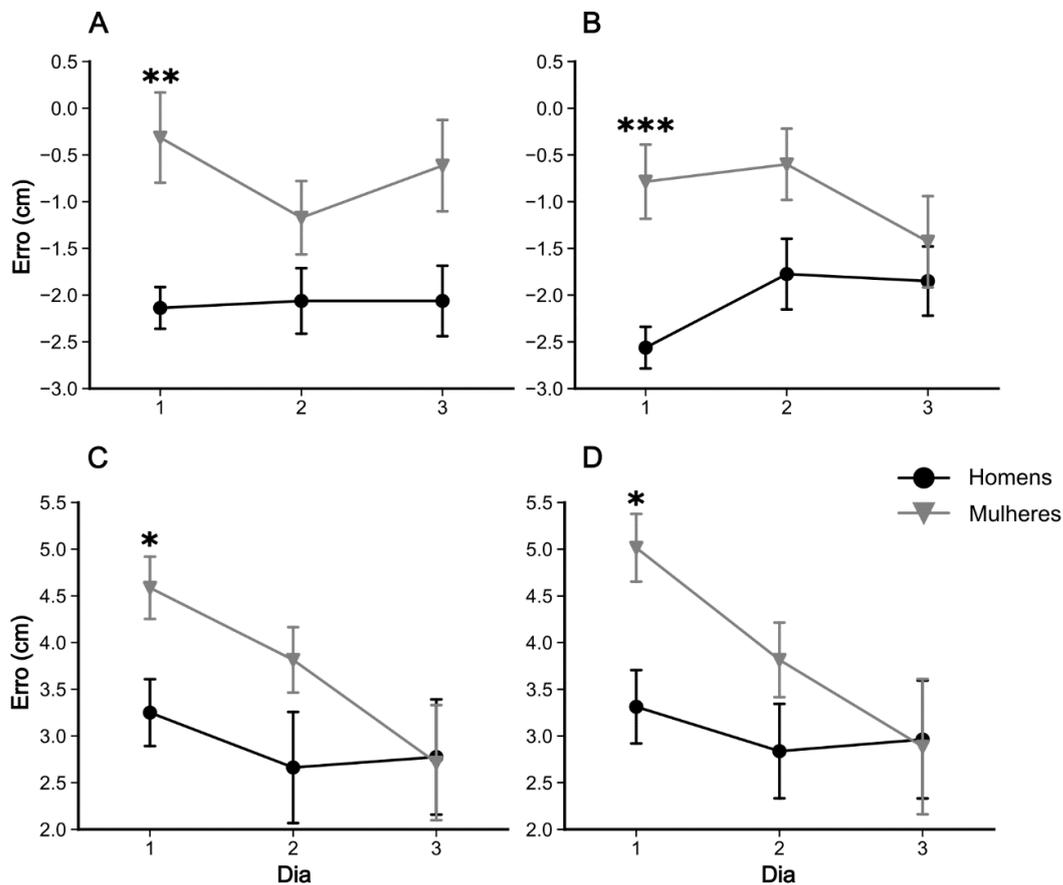


Figura 14. Gráficos de linhas dos erros médios na tarefa de reprodução de posição alvo para as posições iniciais de 5 cm (A e B) e 26 cm (C e D) feitas por homens e mulheres nos 3 dias de experimentos, antes (A e C) e depois da tarefa de desenho guiado por espelho (B e D). Os símbolos representam a média \pm Erro Padrão. *p < 0,05, **p < 0,01 e ***p < 0,001.

5.3.2 Correlação entre erros e índices

Tendo sido encontradas diferenças significativas ao longo dos dias e entre os sexos em ambos os experimentos, investigou-se uma possível correlação entre cada um dos índices (conformidade e velocidade) e os erros cometidos. Como não foram encontrados efeitos significativos para o fator ‘momento’ [$F(1,73) = 0,578$, $p = 0,449$, $\eta^2 = 0,008$], nem para a interação ‘momento’ x ‘dia’ [$F(2,146) = 0,361$, $p = 0,697$, $\eta^2 = 0,005$], as medidas de erros antes e após a tarefa de desenho foram agregadas como erros médios dentro de um mesmo dia de experimentos. Foram encontradas correlações negativas significativas entre o índice de conformidade e todos os erros na condição ‘com espelho’, mas não na condição ‘sem espelho’. Já o índice de velocidade se correlacionou significativamente apenas com os erros na condição ‘com espelho’ e ‘posição inicial’ 26 cm. A figura 15 mostra os gráficos de dispersão para o índices de conformidade e velocidade. As correlações envolvendo o índice de conformidade (Figura 15A e C) foram significativas para as mulheres (‘5 cm’, $r = -0,456$, $p < 0,05$; ‘26 cm’, $r = -0,462$, $p < 0,05$), mas não para os homens (‘com espelho’, 5 cm, $r = -0,305$, $p = 0,15$; ‘com espelho’, 26 cm, $r = -0,264$, $p = 0,21$). Em contraste, o índice de velocidade se correlacionou significativamente apenas com os erros na posição inicial 26 cm (Figura 15 D), para os homens (‘com espelho’, ‘26 cm’, $r = -0,504$, $p < 0,05$). Os índices de conformidade e velocidade apresentaram correlação positiva de 0,579 ($p < 0,001$). O anexo 6 contém a tabela com todas as correlações e os valores p da análise relatada acima.

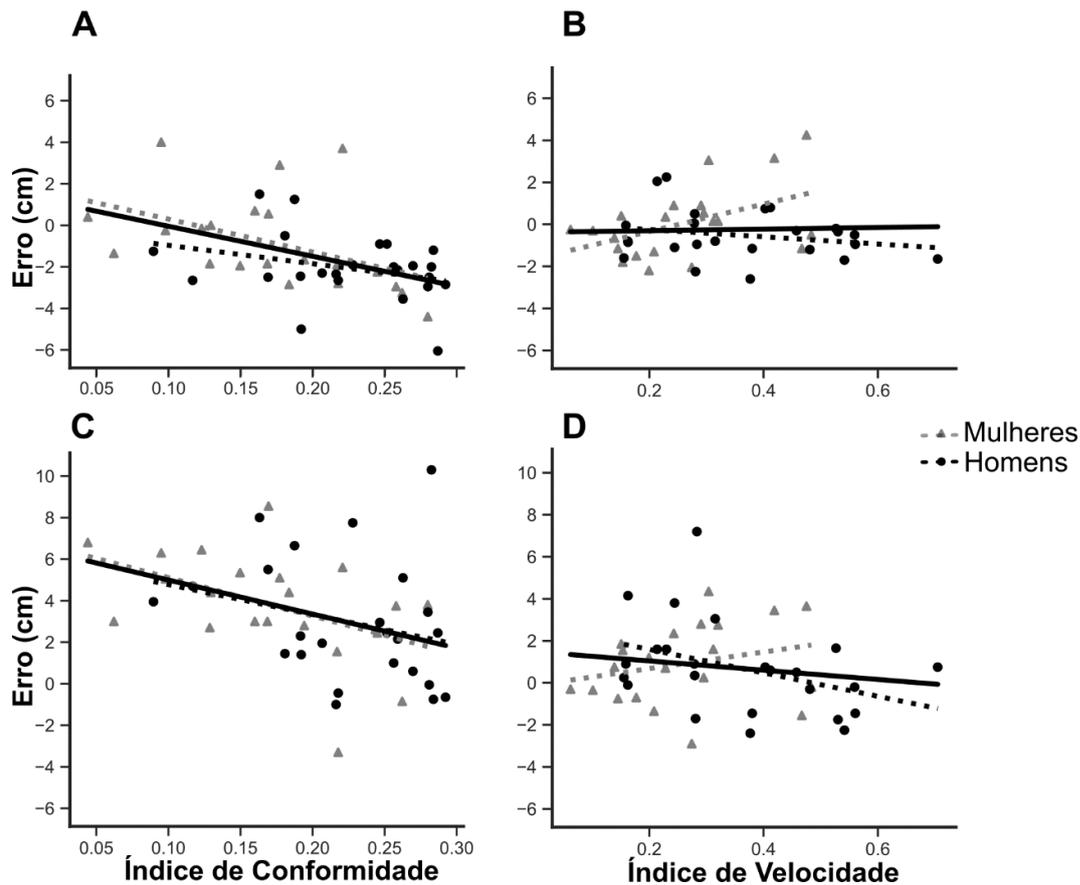


Figura 15. Gráficos de dispersão mostrando a correlação entre os erros na tarefa de reprodução da posição alvo, na condição ‘com espelho’, e os índices de conformidade (**A** e **C**) e velocidade (**B** e **D**) obtidos na tarefa de desenho. Os painéis superiores (**A** e **B**) mostram as correlações na posição inicial 5 cm e os inferiores (**C** e **D**) na posição inicial 26 cm. Cada símbolo representa um único participante. Linhas sólidas e tracejadas representam ajustes lineares.

5.4 *Embodiment*

O teste de Wilcoxon entre os escores do primeiro e terceiro dia de experimentos mostrou que não houve diferença significativa na percepção de *embodiment* relatada [$W = 13$, $p = 0,518$]. O teste de Mann-Whitney também não revelou diferenças significativas entre os escores de mulheres e homens [‘escores dia 1’, $U = 20,5$, $p = 0,388$; ‘escores dia 3’, $U = 18,5$, $p = 0,281$]. Os escores medianos dos dois dias (+2) mostram que os participantes relataram uma forte percepção de *embodiment* nas tarefas de reprodução de posição alvo, na condição ‘com espelho’ (**figura 16**).

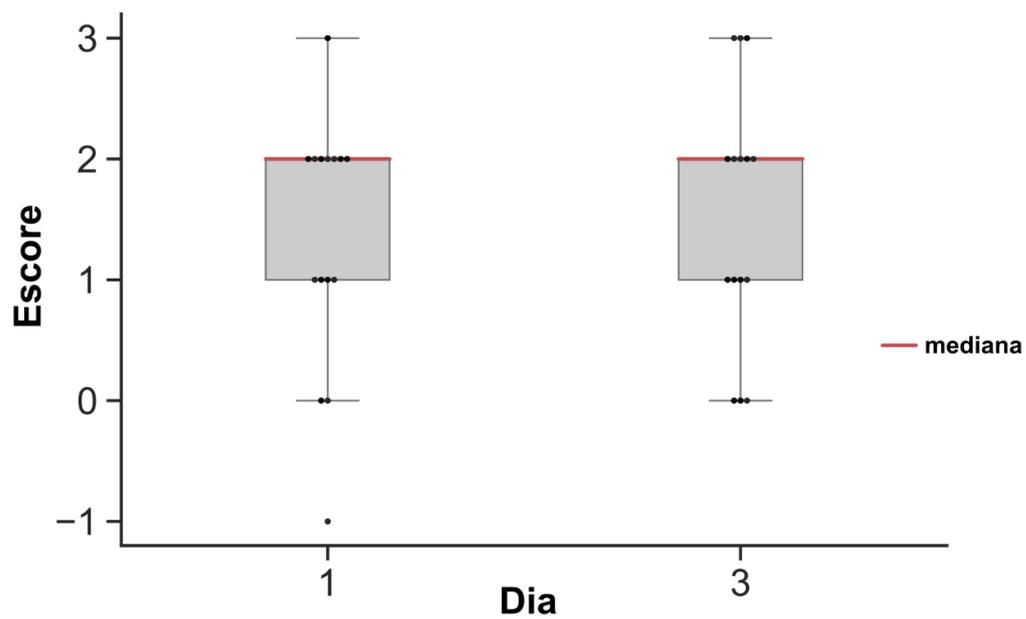


Figura 16. Boxplot dos escores de embodiment no primeiro e terceiro dia.

A análise da correlação entre os erros e os escores foi realizada com o índice de correlação de Spearman, uma vez que as medidas estão expressas em valores ordinais (escala *likert*) e contínuos (erros). Os resultados mostraram que não houve significância estatística para os coeficientes de correlação calculados.

6

Discussão

6.1

Mecanismos da captura visual

Os experimentos realizados reforçam a compreensão de que a ilusão criada pela caixa-espelho altera a percepção do participante quanto à posição da mão oculta. Essa percepção de que a mão refletida no espelho é a mão real pôde ser associada a um efeito significativo na percepção da posição inicial da mão oculta, uma vez que, quando o *embodiment* esteve presente, observou-se erros maiores na tarefa de reprodução da posição alvo, sistematicamente na direção da posição aparente da mão esquerda (posição do reflexo). Esse efeito pode ser facilmente visualizado na **figura 11**, que mostra erros maiores na condição ‘com espelho’ do que na condição ‘sem espelho’.

A captura visual tem sido explicada como resultante do conflito entre as informações proprioceptivas e visuais (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Liu & Medina, 2018; Medina et al., 2015), assim como pela influência direta do *embodiment* (Liu & Medina, 2017, 2018; Medina et al., 2015). A estimativa perceptual da posição inicial da mão oculta pode ser entendida como o resultado de uma média ponderada das posições informadas pelos diferentes canais sensoriais, onde o peso de cada modalidade é dado pela sua precisão (confiabilidade) relativa (Ernst & Banks, 2002; Ernst & Bühlhoff, 2004; Guerraz et al., 2012; Van Beers et al., 1999). No experimento realizado na condição ‘com espelho’, onde há discrepância entre a posição informada visualmente e a informada pela propriocepção, a precisão relativa desta é degradada para resolver o conflito (Balslev et al., 2004; Bernier et al., 2009; Guerraz et al., 2012). Portanto, com a diminuição da precisão da propriocepção, as informações visuais ganham maior peso relativo, o que resulta no viés posicional observado.

Os resultados apresentados nas seções anteriores convergem para o entendimento de que o efeito de captura visual ocorre via degradação da precisão relativa da propriocepção no processo de resolução do conflito visual-proprioceptivo, mas são inconclusivos quanto à participação direta do *embodiment*, para além da sua contribuição com o conflito visual-proprioceptivo.

6.2

Recalibração visual-proprioceptiva e captura visual

Lajoie et al. (1992) mostraram que um paciente com déficit severo nos sinais aferentes da propriocepção teve melhor desempenho do que controles numa tarefa de desenho guiado por espelho e que, após algum treino, a performance dos participantes sem o déficit praticamente se igualava à do paciente. Os autores explicaram esse resultado em termos da ausência de conflito visual-proprioceptivo no paciente e da recalibração da representação visual-proprioceptiva nos controles, após o aprendizado da tarefa. Essa explicação foi apoiada por outros autores, como por exemplo, Balslev et al. (2004), que ao aplicarem Estimulação Magnética Transcraniana (TMS, na sigla em inglês) em participantes sem nenhum déficit na propriocepção, induziram uma degradação na percepção dos sinais proprioceptivos e observaram um melhor desempenho na tarefa de desenho guiado por espelho. No mesmo sentido, Bernier et al. (2009) demonstraram que, nas primeiras repetições da tarefa de desenho guiado pelo espelho, os sinais aferentes da propriocepção eram substancialmente atenuados quando chegavam ao córtex somatossensorial primário (S1) e que após a recalibração essa supressão desaparecia. Adicionalmente, encontraram uma correlação positiva entre o desempenho na tarefa e a supressão nas fases iniciais, indicando que a atenuação cortical propicia a redução do conflito visual-proprioceptivo nas fases iniciais da tarefa, enquanto a recalibração visual-proprioceptiva resolve o conflito após o aprendizado da tarefa, quando não mais se observa a supressão cortical dos sinais aferentes da propriocepção.

O questionamento central trazido por este estudo pode ser resumido em uma pergunta: a recalibração visual-proprioceptiva induzida pela tarefa de desenho guiado pelo espelho influencia a captura visual que ocorre na tarefa de reprodução da posição-alvo? Os experimentos realizados procuraram responder essa questão comparando os índices de conformidade e velocidade calculados na tarefa de desenho guiado pelo espelho (**Figura 9**, E2), com os erros cometidos na tarefa de reprodução da posição-alvo (**Figura 9**, E1 e E3), bem como aplicando os questionários sobre a percepção do *embodiment*.

Como descrito na seção 4.3, os resultados mostraram que os participantes melhoraram significativamente o desempenho na tarefa do desenho, como aferido

pelos índices de conformidade e de velocidade. O fator ‘dia’ explicou 56,9% da variância, mostrando que os participantes aprenderam a tarefa e melhoraram o desempenho com o treinamento, como seria de se esperar. Além disso, houve diferença significativa no desempenho de homens e mulheres (**figura 13**), com o fator ‘sexo’ respondendo por 22,6% da variância.

As correlações negativas entre os índices da tarefa de desenho e os erros cometidos na tarefa de reprodução da posição alvo (seção 4.4) indicam que, quanto maiores os índices (em especial o índice de conformidade) obtidos na tarefa de desenho, menores os erros cometidos na tarefa de reprodução da posição-alvo. Enquanto na condição ‘com espelho’ houve correlação significativa para todas as posições iniciais, exceto para o índice de velocidade na posição inicial 5 cm, na condição ‘sem espelho’ não houve correlação significativa para nenhuma posição inicial, exceto para o índice de conformidade na posição inicial 5 cm. Como os erros para a posição inicial 5 cm tem menor magnitude, eles naturalmente são mais sensíveis a flutuações aleatórias. Pode-se dizer, então, que houve correlação entre os índices e os erros apenas na condição ‘com espelho’.

Dessa forma, é razoável suspeitar que a recalibração visual-proprioceptiva tenha reduzido a captura visual, pois os erros cometidos na condição ‘com espelho’ apresentaram uma tendência de redução correlacionada com o aumento dos índices, isto é, após a aprendizagem da tarefa de desenho guiado por espelho. Essa mesma tendência não foi observada na condição ‘sem espelho’. Contudo, quando controlamos para o fator “sexo”, confirmamos que o resultado ocorre apenas para as mulheres. Para elas, o índice de conformidade se correlacionou significativamente com os erros cometidos na condição com espelho, em ambas as posições iniciais possíveis (5cm, $r = -0,456$, $p < 0,05$; 26 cm, $r = -0,462$, $p < 0,05$). Já para os homens, diferentemente, houve correlação significativa apenas entre o índice de velocidade e os erros na posição inicial 26 cm (26 cm, $r = -0,504$, $p < 0,05$).

Este resultado parece refletir, de fato, uma diferença na percepção do *embodiment* entre homens e mulheres, se pudermos excluir a hipótese de que é um maior nível de aprendizado na tarefa de desenho, e não o sexo, que está associado à tendência de diminuição dos erros. Para testar essa hipótese, foi realizada a mesma análise de correlação discutida acima, mas dividindo-se os indivíduos em dois grupos, quanto ao maior ou menor aumento nos índices. Calculou-se a mediana das

variações nos índices do 1º para o 3º dia. Aqueles cuja variação no índice de conformidade fosse igual ou maior a mediana foram atribuídos a um grupo e o restante a outro. Quando dividimos os participantes desta forma, as correlações entre os erros e os índices desaparecem, reforçando a hipótese de que há diferenças entre os sexos na percepção do *embodiment*.

Importante notar, ainda, que a melhoria na tarefa de reprodução da posição alvo foi perceptível somente ao longo dos três dias de experimento, mas não dentro de um mesmo dia. Isso sugere que um melhor desempenho na tarefa da reprodução da posição alvo está relacionado à recalibração visual-proprioceptiva induzida pela tarefa de desenho guiado por espelho, indicando um processo cognitivo de longo prazo que envolve a consolidação da memória implícita (Corkin, 1968, 2002; Hadjiosif et al., 2023; Maksimovic & Cressman, 2018; Neville & Cressman, 2018; Salomonczyk et al., 2011; Shadmehr et al., 1998; Tibi et al., 2013; Voges et al., 2015). Além disso, em linha com estudos anteriores (Rauchs et al., 2005), os resultados apresentados sugerem a possível influência do sono nos processos cognitivos associados à redução conflito visual-proprioceptivo.

6.3

***Embodiment* e captura visual**

Conforme os resultados apresentados na seção 4.5 (**figura 16**), tanto no primeiro como no terceiro dia de experimentos, apenas 3 participantes relataram não ter tido a percepção do *embodiment* na tarefa de reprodução da posição alvo, na condição ‘com espelho’. Considerando a média entre os escores do 1º e do 3º dia de cada participante – uma vez que não há diferença estatística entre os escores dos dois dias – apenas dois participantes obtêm escore igual a zero, indicando indecisão quanto à percepção do *embodiment*. Apesar de não ter havido uma condição experimental de movimentos assíncronos ou sem movimento, de maneira a segregar o efeito do espelho e dos movimentos síncronos, podemos nos basear nos achados anteriores, que examinaram estas duas condições adicionais. Todos convergiram para a conclusão de que a presença do espelho e os movimentos síncronos estavam associados a maiores erros e maiores diferenças de posição inicial percebidas (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Medina et al., 2015). Desse modo, na tarefa de reprodução de posição alvo, a presença do espelho

e os movimentos síncronos, além de induzirem a sensação subjetiva do *embodiment*, também induziram maiores erros na tarefa de reprodução da posição alvo, conforme resultados relatados na seção 4.1 (**figura 11**). Contudo, a ocorrência dos dois efeitos (*embodiment* e maiores erros) não se traduziu em uma correlação significativa entre os erros e os escores, o que talvez possa ser explicado pelo tamanho pequeno da amostra.

Não parece plausível a possibilidade de que de fato não exista correlação entre os escores de *embodiment* e os erros. Em trabalhos anteriores, foram encontradas correlações significativas entre os escores e uma medida da posição percebida da mão oculta (Longo et al., 2008; Medina et al., 2015). Nos dois estudos, a posição percebida da mão oculta era relatada verbalmente, de acordo com uma escala colocada acima do aparato que oculta a real posição da mão. Outros pesquisadores, embora não tenham aferido a percepção de *embodiment*, encontraram correlações significativas entre a posição inicial percebida da mão oculta e os erros na tarefa de reprodução da posição alvo (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005). Logo, fica claro que os erros cometidos também devem estar correlacionados com os escores do questionário de *embodiment*, ainda que indiretamente.

Holmes et al. (2004; 2005) mostraram que os erros cometidos na tarefa de reprodução de posição alvo, na condição com espelho e com movimentos síncronos, eram maiores do que os erros cometidos na mesma tarefa, mas sem movimentos, apenas com a exposição ao espelho. De forma semelhante, Medina, Khurana e Coslett (2015), encontraram diferenças nas posições percebidas da mão oculta, quando comparadas as condições de movimentos síncronos ou sem movimento. Na condição com espelho e movimentos síncronos, houve maior discrepância entre a posição percebida e a posição real da mão oculta.

Ainda que não tenham sido encontradas correlações significativas entre os escores do questionário e os erros cometidos, conclui-se com segurança que o *embodiment* é um componente central para a observação do efeito de captura visual. O fato de o *embodiment* ter sido relatado por virtualmente todos os participantes e maiores erros terem sido cometidos na condição com espelho, aliado aos resultados dos estudos anteriores descritos acima, indica que o *embodiment* é um componente fundamental na modulação do conflito visual-proprioceptivo experimentado e, por consequência, na ocorrência da captura visual.

7

Conclusão

Os resultados obtidos neste estudo, além de corroborarem trabalhos anteriores quanto à captura visual e seus mecanismos (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Liu & Medina, 2018; Medina et al., 2015), trazem indícios de que a recalibração visual-proprioceptiva associada à aprendizagem da tarefa de desenho guiado pelo espelho diminui o efeito da captura visual provocada pelo espelho na tarefa de reprodução da posição-alvo. As implicações dessa informação podem ser de grande relevância teórica e clínica.

De uma perspectiva teórica, uma menor captura visual após a execução dos desenhos aponta para uma redução do conflito visual-proprioceptivo induzida pela tarefa. Contudo, a falta de um grupo de controle, no qual os participantes não tivessem realizado a tarefa de desenho, impede que possamos concluir taxativamente sobre esse efeito causal. Ainda assim, tal relação parece provável quando examinamos as correlações negativas dos índices com os erros. Quando controlamos para o sexo, a associação permanece justamente para as mulheres, o grupo onde a redução nos erros foi significativa e que também mostrou maior conflito visual-proprioceptivo na tarefa do desenho. Pesquisas futuras poderão examinar mais detalhadamente essas questões.

Potenciais aplicações clínicas também poderão advir dos resultados aqui discutidos. Outros autores relatam que pacientes com certas condições psiquiátricas, como os distúrbios alimentares (principalmente bulimia e anorexia nervosa) e a esquizofrenia, experimentam um maior nível de *embodiment* em ilusões visuais similares à investigada por este estudo (Eshkevari et al., 2012; Ferri et al., 2014; Peled et al., 2000; Thakkar et al., 2011). O caso dos distúrbios alimentares adquire especial notoriedade quando confrontamos nossos achados com a prevalência desses transtornos em mulheres e homens. Nos transtornos alimentares em geral, a prevalência ao longo da vida para as mulheres é de 2,58%, enquanto para os homens é de 0,74%, uma proporção de 3,5:1. Quando consideramos os casos específicos da anorexia e bulimia, a proporção é de 15,5:1 e 3,2:1, respectivamente (Qian et al., 2022). Embora admita-se que o principal componente psicológico dos transtornos alimentares seja emocional (Griffen et al., 2018), as diferenças entre mulheres e homens encontradas neste e em outros

estudos, sugerem uma possível participação de processos perceptuais na etiologia dessas condições psicopatológicas. Estas conclusões permitem o delineamento de diretrizes para pesquisas futuras, no sentido de discernir se os mesmos resultados podem ser reproduzidos em pacientes com distúrbios psiquiátricos específicos e, em caso afirmativo, se a redução dos efeitos de captura visual acarretaria também a atenuação de sintomas experimentados.

8

Referências Bibliográficas

AMBRON, E.; MEDINA, J. **Examining constraints on embodiment using the Anne Boleyn illusion.** *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, [s.l.], v. 49, n° 6, p. 877–892, 2023. ISSN: 1939-1277, DOI: 10.1037/XHP0001125.

BALSLEV, D. et al. **Enhanced accuracy in novel mirror drawing after repetitive transcranial magnetic stimulation-induced proprioceptive deafferentation.** *Journal of Neuroscience*, [s.l.], v. 24, n° 43, p. 9698–9702, 2004. ISSN: 02706474, DOI: 10.1523/JNEUROSCI.1738-04.2004.

BARNETT-COWAN, M. et al. **Multisensory determinants of orientation perception: task-specific sex differences.** *The European journal of neuroscience*, [s.l.], v. 31, n° 10, p. 1899–1907, 2010. ISSN: 1460-9568, DOI: 10.1111/J.1460-9568.2010.07199.X.

BEERS, R. J. VAN; SITIG, A. C.; DENIER VAN DER GON, J. J. **Integration of proprioceptive and visual position-information: An experimentally supported model.** *Journal of Neurophysiology*, [s.l.], v. 81, n° 3, p. 1355–1364, 1999. ISSN: 00223077, DOI: 10.1152/jn.1999.81.3.1355.

BERNIER, P. M. et al. **Direct evidence for cortical suppression of somatosensory afferents during visuomotor adaptation.** *Cerebral cortex (New York, N.Y. : 1991)*, [s.l.], v. 19, n° 9, p. 2106–2113, 2009. ISSN: 1460-2199, DOI: 10.1093/CERCOR/BHN233.

BLUM, K. P. et al. **Proprioception: A sense to facilitate action.** *Somatosensory Feedback for Neuroprosthetics*, [s.l.], p. 41–76, 2021. ISBN: 9780128228289, DOI: 10.1016/B978-0-12-822828-9.00017-4.

BOTVINICK, M.; COHEN, J. **Rubber hands “feel” touch that eyes see [8].** *Nature*, [s.l.], v. 391, n° 6669, p. 756, 1998. ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/35784.

CANON, L. K. **Directed attention and maladaptive “adaptation” to displacement of the visual field.** *Journal of Experimental Psychology*, [s.l.], v. 88, n° 3, 1971. ISSN: 00221015, DOI: 10.1037/h0030878.

CAREY, M. et al. **The Effect of Visual Capture Towards Subjective Embodiment Within the Full Body Illusion.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 9, n° 1, 2019. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-019-39168-4.

COLLINS, K. L. et al. **A review of current theories and treatments for phantom limb pain.** *Journal of Clinical Investigation*, [s.l.], v. 128, n° 6, p. 2168–2176, 2018. ISSN: 15588238, DOI: 10.1172/JCI94003.

CORKIN, S. **Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal-lobe excision.** *Neuropsychologia*, [s.l.], v. 6, n° 3, p. 255–265, 1968. ISSN: 0028-3932, DOI: [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90024-9).

CORKIN, S. **What's new with the amnesic patient H.M.?** *Nature reviews. Neuroscience*, [s.l.], v. 3, n° 2, p. 153–160, 2002. ISSN: 1471-003X, DOI: 10.1038/NRN726.

CRAIGHERO, L. **The role of the motor system in cognitive functions.** *The Routledge Handbook of Embodied Cognition*, [s.l.], p. 51–58, 2014. ISBN: 9781317688662, DOI: 10.4324/9781315775845-14.

DIERS, M. et al. **Illusion-related brain activations: A new virtual reality mirror box system for use during functional magnetic resonance imaging.** *Brain Research*, [s.l.], v. 1594, p. 173–182, 2015. ISSN: 18726240, DOI: 10.1016/j.brainres.2014.11.001.

DING, L. et al. **The instant effect of embodiment via mirror visual feedback on electroencephalogram-based brain connectivity changes: A pilot study.** *Frontiers in Neuroscience*, [s.l.], v. 17, 2023. ISSN: 1662453X, DOI: 10.3389/fnins.2023.1138406.

DOHLE, C.; ALTSCHULER, E.; RAMACHANDRAN, V. S. **Mirror therapy.** *Multisensory Perception: From Laboratory to Clinic*, [s.l.], p. 449–461, 2019. ISBN: 9780128124925, DOI: 10.1016/B978-0-12-812492-5.00020-6.

EGSGAARD, L. L. et al. **Cortical responses to the mirror box illusion: A high-resolution EEG study.** *Experimental Brain Research*, [s.l.], v. 215, n° 3–4, p. 345–357, 2011. ISSN: 00144819, DOI: 10.1007/s00221-011-2902-x.

ERNST, M. O.; BANKS, M. S. **Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion.** *Nature*, [s.l.], v. 415, n° 6870, p. 429–433, 2002. ISSN: 0028-0836, DOI: 10.1038/415429A.

ERNST, M. O.; BÜLTHOFF, H. H. **Merging the senses into a robust percept.** *Trends in Cognitive Sciences*, [s.l.], v. 8, n° 4, p. 162–169, 2004. ISSN: 13646613, DOI: 10.1016/j.tics.2004.02.002.

ESHKEVARI, E. et al. **Increased plasticity of the bodily self in eating disorders.** *Psychological medicine*, [s.l.], v. 42, n° 4, p. 819–828, 2012. ISSN: 1469-8978, DOI: 10.1017/S0033291711002091.

FERRI, F. et al. **Upcoming tactile events and body ownership in schizophrenia.** *Schizophrenia research*, [s.l.], v. 152, n° 1, p. 51–57, 2014. ISSN: 1573-2509, DOI: 10.1016/J.SCHRES.2013.06.026.

GIROUX, M. et al. **From Embodiment of a Point-Light Display in Virtual Reality to Perception of One's Own Movements.** *Neuroscience*, [s.l.], v. 416, p. 30–40, 2019. ISSN: 18737544, DOI: 10.1016/j.neuroscience.2019.07.043.

GRIFFEN, T. C.; NAUMANN, E.; HILDEBRANDT, T. **Mirror exposure therapy for body image disturbances and eating disorders: A review.** *Clinical psychology review*, [s.l.], v. 65, p. 163–174, 2018. ISSN: 1873-7811, DOI: 10.1016/J.CPR.2018.08.006.

GUERRAZ, M. et al. **Integration of visual and proprioceptive afferents in kinesthesia.** *Neuroscience*, [s.l.], v. 223, p. 258–268, 2012. ISSN: 03064522, DOI: 10.1016/j.neuroscience.2012.07.059.

HADJIOSIF, A. M.; MOREHEAD, J. R.; SMITH, M. A. **A double dissociation between savings and long-term memory in motor learning.** *PLoS biology*, [s.l.], v. 21, n° 4, 2023. ISSN: 1545-7885, DOI: 10.1371/JOURNAL.PBIO.3001799.

HAN, J. et al. **Assessing proprioception: A critical review of methods.** *Journal of sport and health science*, [s.l.], v. 5, n° 1, p. 80–90, 2016. ISSN: 2213-2961, DOI: 10.1016/j.jshs.2014.10.004.

HOLMES, N. P.; CROZIER, G.; SPENCE, C. **When mirrors lie: “Visual capture” of arm position impairs reaching performance.** *Cognitive, Affective and Behavioral Neuroscience*, [s.l.], v. 4, n° 2, p. 193–200, 2004. ISSN: 15307026, DOI: 10.3758/CABN.4.2.193.

HOLMES, N. P.; SPENCE, C. **Visual bias of unseen hand position with a mirror: spatial and temporal factors.** *Experimental brain research*, [s.l.], v. 166, n° 3–4, p. 489–497, 2005. ISSN: 0014-4819, DOI: 10.1007/S00221-005-2389-4.

KUNDI, M. K.; SPENCE, N. J. **Efficacy of mirror therapy on lower limb motor recovery, balance and gait in subacute and chronic stroke: A systematic review.** *Physiotherapy research international : the journal for researchers and clinicians in physical therapy*, [s.l.], v. 28, n° 2, 2023. ISSN: 1471-2865, DOI: 10.1002/PRI.1997.

LAJOIE, Y. et al. **Mirror drawing in a deafferented patient and normal subjects: visuoproprioceptive conflict.** *Neurology*, [s.l.], v. 42, n° 5, p. 1104–1106, 1992. ISSN: 0028-3878, DOI: 10.1212/WNL.42.5.1104.

LEACH, W. T.; MEDINA, J. **Understanding components of embodiment: Evidence from the mirror box illusion.** *Consciousness and Cognition*, [s.l.], v. 103, p. 103373, 2022. ISSN: 1053-8100, DOI: 10.1016/J.CONCOG.2022.103373.

LEE, D.; LEE, G. **Effect of afferent electrical stimulation with mirror therapy on motor function, balance, and gait in chronic stroke survivors: A randomized controlled trial.** *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, [s.l.], v. 55, n° 4, p. 442–449, 2019. ISSN: 19739095, DOI: 10.23736/S1973-9087.19.05334-6.

LEPHART, S. M. et al. **The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries.** *American Journal of Sports Medicine*, [s.l.], v. 25, n° 1, 1997. ISSN: 03635465, DOI: 10.1177/036354659702500126.

LING, J.; HAMILTON, C.; HEFFERNAN, T. M. **Sex differences in the Poggendorff illusion: Identifying the locus of the effect.** *Perceptual and Motor Skills*, [s.l.], v. 102, n° 1, p. 142–146, 2006. ISSN: 00315125, DOI: 10.2466/PMS.102.1.142-146.

LIU, Y.; MEDINA, J. **Influence of the Body Schema on Multisensory Integration: Evidence from the Mirror Box Illusion.** *Scientific Reports*, [s.l.], v. 7, n° 1, 2017. ISSN: 20452322, DOI: 10.1038/s41598-017-04797-0.

LIU, Y.; MEDINA, J. **Integrating multisensory information across external and motor-based frames of reference.** *Cognition*, [s.l.], v. 173, p. 75–86, 2018. ISSN: 18737838, DOI: 10.1016/j.cognition.2018.01.005.

LIU, Y.; MEDINA, J. **Visuoproprioceptive conflict in hand position biases tactile localization on the hand surface.** *Journal of experimental psychology. Human perception and performance*, [s.l.], v. 47, n° 3, p. 344–356, 2021. ISSN: 1939-1277, DOI: 10.1037/XHP0000893.

LONGO, M. R. et al. **What is embodiment? A psychometric approach.** *Cognition*, [s.l.], v. 107, n° 3, p. 978–998, 2008. ISSN: 00100277, DOI: 10.1016/j.cognition.2007.12.004.

MAKSIMOVIC, S.; CRESSMAN, E. K. **Long-term retention of proprioceptive recalibration.** *Neuropsychologia*, [s.l.], v. 114, p. 65–76, 2018. ISSN: 18733514, DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.009.

MEDINA, J.; KHURANA, P.; COSLETT, H. B. **The influence of embodiment on multisensory integration using the mirror box illusion.** *Consciousness and Cognition*, [s.l.], v. 37, p. 71–82, 2015. ISSN: 10902376, DOI: 10.1016/j.concog.2015.08.011.

MIALL, R. C.; COLE, J. **Evidence for stronger visuo-motor than visuo-proprioceptive conflict during mirror drawing performed by a deafferented subject and control subjects.** *Experimental Brain Research*, [s.l.], v. 176, n° 3, p. 432–439, 2007. ISSN: 00144819, DOI: 10.1007/s00221-006-0626-0.

MIALL, R. Chris et al. **The role of somatosensation in automatic visuo-motor control: a comparison of congenital and acquired sensory loss.** *Experimental Brain Research*, [s.l.], v. 239, n° 7, p. 2043–2061, 2021. ISSN: 14321106, DOI: 10.1007/s00221-021-06110-y.

MOON, K. M. et al. **Proprioception, the regulator of motor function.** *BMB Reports*, [s.l.], v. 54, n° 8, p. 393–402, 2021. ISSN: 1976670X, DOI: 10.5483/BMBRep.2021.54.8.052.

MYERS, J. B. et al. **Proprioception and Neuromuscular Control of the Shoulder after Muscle Fatigue.** *Journal of Athletic Training*, [s.l.], v. 34, n° 4, 1999. ISSN: 10626050.

NEVILLE, K. M.; CRESSMAN, E. K. **The influence of awareness on explicit and implicit contributions to visuomotor adaptation over time.** *Experimental Brain Research*, [s.l.], v. 236, n° 7, p. 2047–2059, 2018. ISSN: 14321106, DOI: 10.1007/s00221-018-5282-7.

OTSURU, N. et al. **Sensory incongruence leading to hand disownership modulates somatosensory cortical processing.** *Cortex*, [s.l.], v. 58, p. 1–8, 2014. ISSN: 19738102, DOI: 10.1016/j.cortex.2014.05.005.

PELED, A. et al. **Touch feel illusion in schizophrenic patients.** *Biological psychiatry*, [s.l.], v. 48, n° 11, p. 1105–1108, 2000. ISSN: 0006-3223, DOI: 10.1016/S0006-3223(00)00947-1.

PRATARELLI, M. E.; STEITZ, B. J. **Effects of gender on perception of spatial illusions.** *Perceptual and motor skills*, [s.l.], v. 80, n° 2, p. 625–626, 1995. ISSN: 00315125, DOI: 10.2466/pms.1995.80.2.625.

QIAN, J. et al. **An update on the prevalence of eating disorders in the general population: a systematic review and meta-analysis.** *Eating and Weight Disorders*, [s.l.], v. 27, n° 2, p. 415–428, 2022. ISSN: 15901262, DOI: 10.1007/s40519-021-01162-z.

RAMACHANDRAN, V. S.; RODGERS-RAMACHANDRAN, D. **Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors.** *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 263, n° 1369, p. 377–386, 1996. ISSN: 14712970, DOI: 10.1098/rspb.1996.0058.

RAMACHANDRAN, V. S.; ROGERS-RAMACHANDRAN, D.; COBB, S.
Touching the phantom limb. *Nature*, [s.l.], v. 377, n° 6549, p. 489–490, 1995.
 ISSN: 00280836, DOI: 10.1038/377489a0.

RAMACHANDRAN, Vilayanur S.; MARCUS, Z.; CHUNHARAS, C. **Bouba-Kiki: Cross-domain resonance and the origins of synesthesia, metaphor, and words in the human mind.** *Multisensory Perception: From Laboratory to Clinic*. [s.l.]: [s.n.], 2019. DOI: 10.1016/B978-0-12-812492-5.00001-2.

SALOMONCZYK, D.; CRESSMAN, E. K.; HENRIQUES, D. Y. P. **Proprioceptive recalibration following prolonged training and increasing distortions in visuomotor adaptation.** *Neuropsychologia*, [s.l.], v. 49, n° 11, p. 3053–3062, 2011. ISSN: 00283932, DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.07.006.

SAYEGH, S. AL et al. **Mirror therapy for Complex Regional Pain Syndrome (CRPS)-A literature review and an illustrative case report.** *Scandinavian journal of pain*, [s.l.], v. 4, n° 4, p. 200–207, 2013. ISSN: 1877-8879, DOI: 10.1016/J.SJPAIN.2013.06.002.

SCHMALZL, L.; RAGNÖ, C.; EHRSSON, H. H. **An alternative to traditional mirror therapy: illusory touch can reduce phantom pain when illusory movement does not.** *The Clinical journal of pain*, [s.l.], v. 29, n° 10, 2013. ISSN: 1536-5409, DOI: 10.1097/AJP.0B013E3182850573.

SHADMEHR, R.; BRANDT, J.; CORKIN, S. **Time-dependent motor memory processes in amnesic subjects.** *Journal of neurophysiology*, [s.l.], v. 80, n° 3, p. 1590–1597, 1998. ISSN: 0022-3077, DOI: 10.1152/JN.1998.80.3.1590.

SHAPIRO, L. **Embodied cognition.** *Embodied Cognition*, [s.l.], p. 1–288, 2019. ISBN: 9781315180380, DOI: 10.4324/9781315180380.

STILLMAN, B. C. **Making sense of proprioception: The meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms.** *Physiotherapy*, [s.l.], v. 88, n° 11, p. 667–676, 2002. ISSN: 00319406, DOI: 10.1016/S0031-9406(05)60109-5.

SWANIK, C. B.; LEPHART, S. M.; RUBASH, H. E. **Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses.** *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, [s.l.], v. 86, n° 2, p. 328–334, 2004. ISSN: 0021-9355, DOI: 10.2106/00004623-200402000-00016.

SWANIK, K. A. et al. **The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics.** *Journal of Shoulder and Elbow Surgery*, [s.l.], v. 11, n° 6, p. 579–586, 2002. ISSN: 10582746, DOI: 10.1067/mse.2002.127303.

TEKEOGLU TOSUN, A. et al. **The efficiency of mirror therapy on drop foot in Multiple Sclerosis Patients.** *Acta Neurologica Scandinavica*, [s.l.], v. 143, n° 5, p. 545–553, 2021. ISSN: 16000404, DOI: 10.1111/ane.13385.

THAKKAR, K. N. et al. **Disturbances in body ownership in schizophrenia: evidence from the rubber hand illusion and case study of a spontaneous out-of-body experience.** *PloS one*, [s.l.], v. 6, n° 10, 2011. ISSN: 1932-6203, DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0027089.

THIEME, H. et al. **Mirror therapy for improving motor function after stroke.** *Cochrane Database of Systematic Reviews*, [s.l.], v. 2018, n° 7, 2018. ISSN: 1469493X, DOI: 10.1002/14651858.CD008449.PUB3/MEDIA/CDSR/CD008449/IMAGE_N/NCD008449-CMP-006-01.PNG.

TIBI, R.; EVIATAR, Z.; KARNI, A. **Fact retrieval and memory consolidation for a movement sequence: bidirectional effects of “unrelated” cognitive tasks on procedural memory.** *PloS one*, [s.l.], v. 8, n° 11, 2013. ISSN: 1932-6203, DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0080270.

TUTHILL, J. C.; AZIM, E. **Proprioception.** *Current Biology*, [s.l.], v. 28, n° 5, p. R194–R203, 2018. ISSN: 09609822, DOI: 10.1016/j.cub.2018.01.064.

VARELA, F. J. et al. **The embodied mind: Cognitive science and human experience.** *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, [s.l.], p. 1–322, 2016. ISBN: 9780262335492, ISSN: 17105668, DOI: 10.29173/CMPLCT8718.

VECCHIATO, G. et al. **Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments.** *Cognitive Processing*, [s.l.], v. 16, p. 425–429, 2015. ISSN: 16124790, DOI: 10.1007/s10339-015-0725-6.

VOGES, C. et al. **Ganzfeld stimulation or sleep enhance long term motor memory consolidation compared to normal viewing in saccadic adaptation paradigm.** *PloS one*, [s.l.], v. 10, n° 4, 2015. ISSN: 1932-6203, DOI: 10.1371/JOURNAL.PONE.0123831.

9

Anexos

9.1

Anexo 1 – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Resolução nº 466/2012 – Conselho Nacional de Saúde

Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa intitulada “Integração Multissensorial: Uma avaliação experimental da relação perceptual entre visão, propriocepção e a sensação de embodiment”, conduzida por Thomas Eichenberg Krahe e Anderson Barcelos de Melo. Este estudo tem por objetivo analisar a interação entre mecanismos de localização dos membros (propriocepção) e a visão.

Sua participação não é obrigatória. A qualquer momento, você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. Sua recusa, desistência ou retirada de consentimento não acarretará prejuízo algum. A participação é voluntária e não acompanha qualquer tipo de remuneração.

A execução da pesquisa depende de sua apresentação por três (3) dias alternadamente (com um ou dois dias de intervalo) ao local proposto para a realização do experimento, por um período com duração máxima prevista de uma hora. A tarefa abarca a execução de um desenho com a mão direita, pequenos movimentos com as mãos e a resposta a questionário. Não será registrado áudio, imagem fotográfica ou vídeo para posterior análise. Os dados obtidos por meio desta pesquisa serão confidenciais e não serão divulgados em nível individual, visando assegurar o sigilo de sua participação. O pesquisador responsável se compromete a tornar públicos nos meios acadêmicos e científicos os resultados obtidos de forma consolidada sem qualquer identificação de indivíduos participantes.

Os riscos desta pesquisa são mínimos, porém, segundo o item II.22 da Resolução CNS nº 466, de 12 de dezembro de 2012 (Conselho Nacional de Saúde, 2012), qualquer pesquisa apresenta a possibilidade de danos à dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual do ser humano. Isto posto, você poderá apresentar cansaço durante a realização das tarefas ou sentir algum tipo de desconforto emocional durante sua participação na pesquisa. O responsável pela realização do estudo se compromete a minimizar os riscos mencionados,

9.2

Anexo 2 – Script em *python* para gerar o modelo de estrela

```

import math
from PIL import Image, ImageDraw

# Função que desenha as estrelas
def DrawStar(x_center, y_center, ext_rad, int_rad, draw, fill=None, outline=None,
width=1):
    # Define as coordenadas dos vértices em coordenadas polares
    vertices = []
    for i in range(6):
        angulo = i * (2 * math.pi / 6) + 3*math.pi/2
        x_externo = x_center + int(ext_rad * math.cos(angulo))
        y_externo = y_center + int(ext_rad * math.sin(angulo))
        vertices.append((x_externo, y_externo))
        x_interno = x_center + int(int_rad * math.cos(angulo + math.pi / 6))
        y_interno = y_center + int(int_rad * math.sin(angulo + math.pi / 6))
        vertices.append((x_interno, y_interno))
    # Desenhar a estrela na imagem
    draw.polygon(vertices, fill, outline, width)

# Função que desenha o círculo que marca o início da tarefa
def DrawCircle(center, radius, draw, fill=None, outline=None, width=1):
    v1 = (center[0] - radius, center[1] - radius)
    v2 = (center[0] + radius, center[1] + radius)
    draw.ellipse([v1, v2],fill=fill, outline=outline, width=width)

#Cria uma imagem com fundo branco.
largura = 2490
altura = 3510
imagem = Image.new('RGB', (largura, altura), (255, 255, 255))

```

```
# Cria um objeto ImageDraw para desenhar na imagem
draw = ImageDraw.Draw(imagem)

# Coordenadas do centro da imagem
centro_x = largura // 2
centro_y = altura // 2

# Tamanho da estrela externa
ext_rad = 1181 #largura/2 - 0,5cm
int_rad = ext_rad/1.7 #muda a forma da estrela. Empírico.

# Desenha a estrela externa
DrawStar(centro_x, centro_y, ext_rad, int_rad, draw, fill=None, outline='black',
width=5)

# Tamanho da estrela interna
ext_rad_inStar = ext_rad/1.2
int_rad_inStar = ext_rad_inStar/1.7

#desenha o círculo que marca o início da tarefa
circle_center = (1240, 671)
DrawCircle(circle_center, 25, draw, fill=None, outline='black', width=5)

# Desenha a estrela interna
DrawStar(centro_x, centro_y, ext_rad_inStar, int_rad_inStar, draw, fill=None,
outline='black', width=5)

# Salvar o modelo de estrela
imagem.save('modelo_estrela.png')

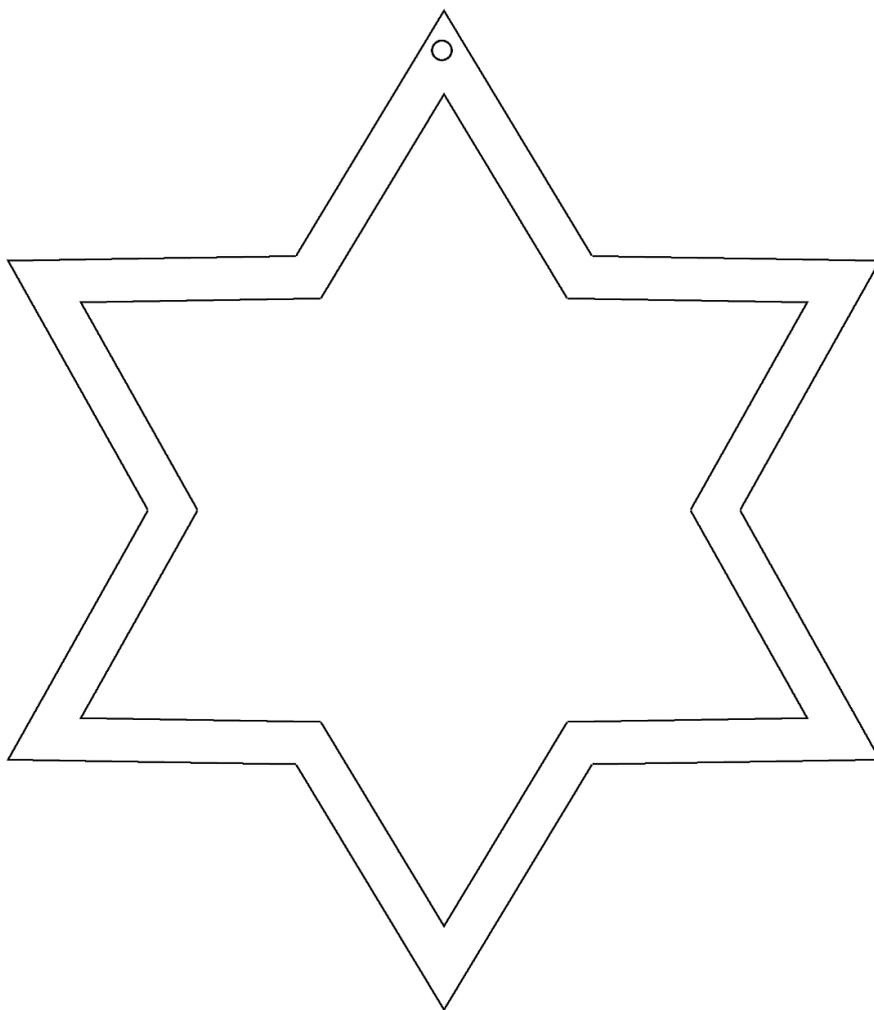
# Gera o desenho de estrela ideal em vermelho
ext_rad_gabStar = (ext_rad + ext_rad_inStar)/2
int_rad_gabStar = ext_rad_gabStar/1.7
DrawStar(centro_x, centro_y, ext_rad_gabStar, int_rad_gabStar, draw, fill=None,
```

```
outline='red', width=1)

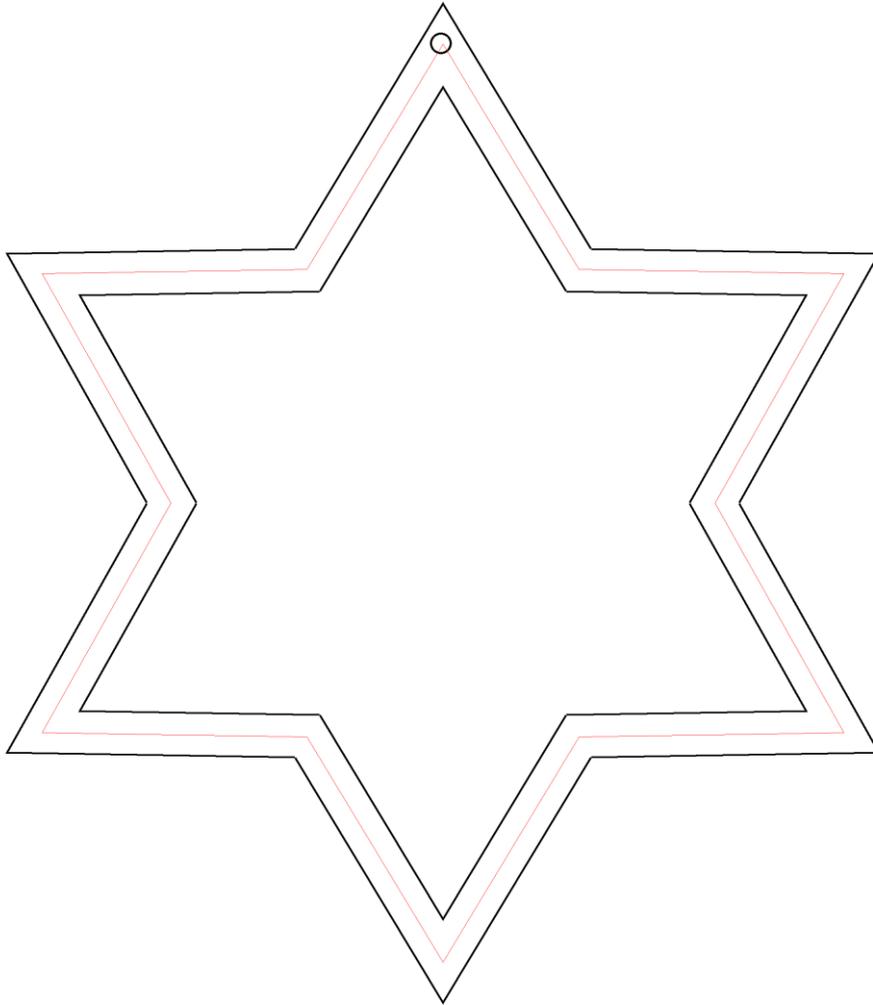
# Salva o desenho ideal
imagem.save('modelo_estrela_gabarito.png')

'''
Gera a máscara que será usada na análise dos desenhos
executados pelos participantes.
'''

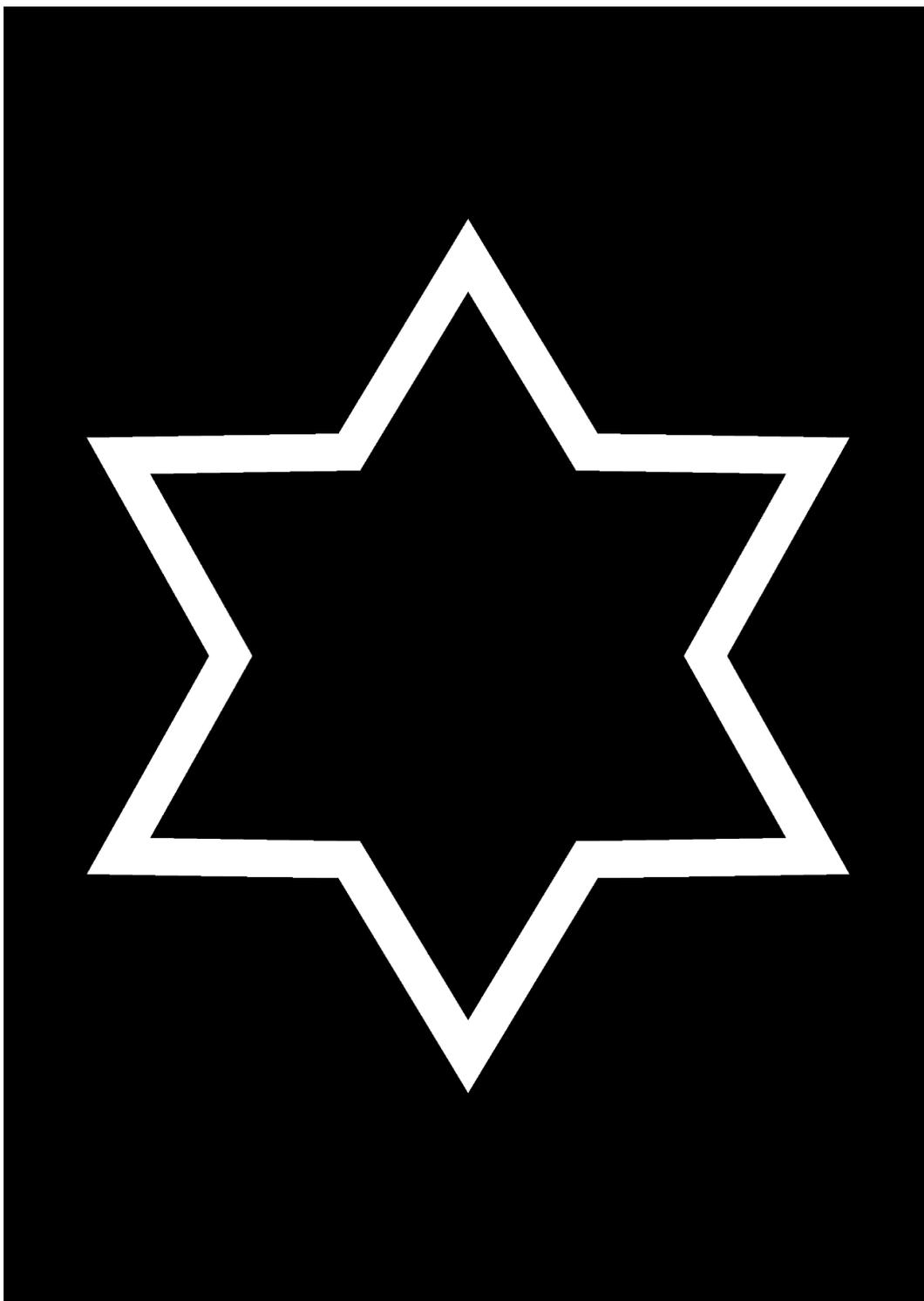
mask_img = Image.new('RGB', (largura, altura), (0, 0, 0))
mask_draw = ImageDraw.Draw(mask_img)
DrawStar(centro_x, centro_y, ext_rad, int_rad, mask_draw, fill='white',
         outline=None, width=5)
DrawStar(centro_x, centro_y, ext_rad_inStar, int_rad_inStar, mask_draw,
         fill='black', outline=None, width=5)
mask_img.save('mascara_estrela.png')
```



Modelo de estrela usado na tarefa de desenho guiado por espelho.



Desenho ideal usado nas análises dos desenhos da tarefa de desenho guiado por espelho.



Máscara da estrela usada na análise das imagens da tarefa de desenho guiado por espelho.

9.3

Anexo 3 - Questionário sobre a experiência de *embodiment*

Escala likert variando de -3 a +3. Os valor -3 representa “Discordo totalmente”, 0 “não concordo nem discordo” e +3 “concordo totalmente”.

1. (Durante a tarefa) pareceu que eu estava olhando diretamente para a minha mão, ao invés de um reflexo.
2. A mão refletida começou a lembrar minha mão real.
3. Pareceu que a mão refletida me pertencia.
4. Pareceu que a mão refletida era a minha mão.
5. Pareceu que a mão refletida era parte do meu próprio corpo.
6. Pareceu que minha mão estava exatamente onde a mão refletida estava.
7. Pareceu que a mão refletida estava exatamente onde minha mão estava.
8. Pareceu que o movimento refletido estava sendo feito pela minha própria mão.
9. Pareceu que eu poderia mover a imagem da mão refletida se eu quisesse.
10. Pareceu que eu tinha controle sobre a imagem da mão refletida.

9.4 Anexo 4 – Script em *python* para analisar as imagens da tarefa de desenho guiado por espelho

```

import cv2
import numpy as np
import os

'''
Função que analisa uma imagem.
path é o caminho da imagem.
star_mask_path é o caminho da máscara do modelo (Anexo 2)
'''

def AnalyzeImg(path, star_mask_path):
    # Carrega a imagem
    image = cv2.imread(path)
    # Converte o espaço da imagem de BGR para HSV
    hsv_image = cv2.cvtColor(image, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    # Define o intervalo para o vermelho
    lower_red = np.array([0, 50, 50]) # Valor mínimo
    upper_red = np.array([10, 255, 255]) # Valor máximo

    # Cria uma máscara para os pixels vermelhos
    red_mask = cv2.inRange(hsv_image, lower_red, upper_red)

    # Carrega o modelo de estrela
    star_img = cv2.imread(star_mask_path, 0)

    # Limite para binarizar a imagem
    threshold = 127

    # Cria máscaras para as regiões (dentro e fora do modelo)
    _, star_mask = cv2.threshold(star_img, threshold, 255, cv2.THRESH_BINARY)
    not_star_mask = cv2.bitwise_not(star_mask)

```

```

in_star = cv2.bitwise_and(red_mask,star_mask)
out_star = cv2.bitwise_and(red_mask,not_star_mask)

npix_red = cv2.countNonZero(red_mask) #nr total de pixels vermelhos
npix_in = cv2.countNonZero(in_star) #nr de pixels dentro
npix_out = cv2.countNonZero(out_star) #nr de pixels fora

# Opcional. Salva imagens ilustrativas da análise.
new_dir = 'AnalyzedImages'
try:
    os.mkdir(new_dir)
except:
    pass
basename = os.path.basename(path).replace('.png','')
red_name = f'{new_dir}\\{basename}__total.png'
in_name = f'{new_dir}\\{basename}_in.png'
out_name = f'{new_dir}\\{basename}_out.png'
cv2.imwrite(red_name, red_mask)
cv2.imwrite(in_name, cv2.bitwise_or(in_star,not_star_mask))
cv2.imwrite(out_name, cv2.bitwise_or(out_star, star_mask))

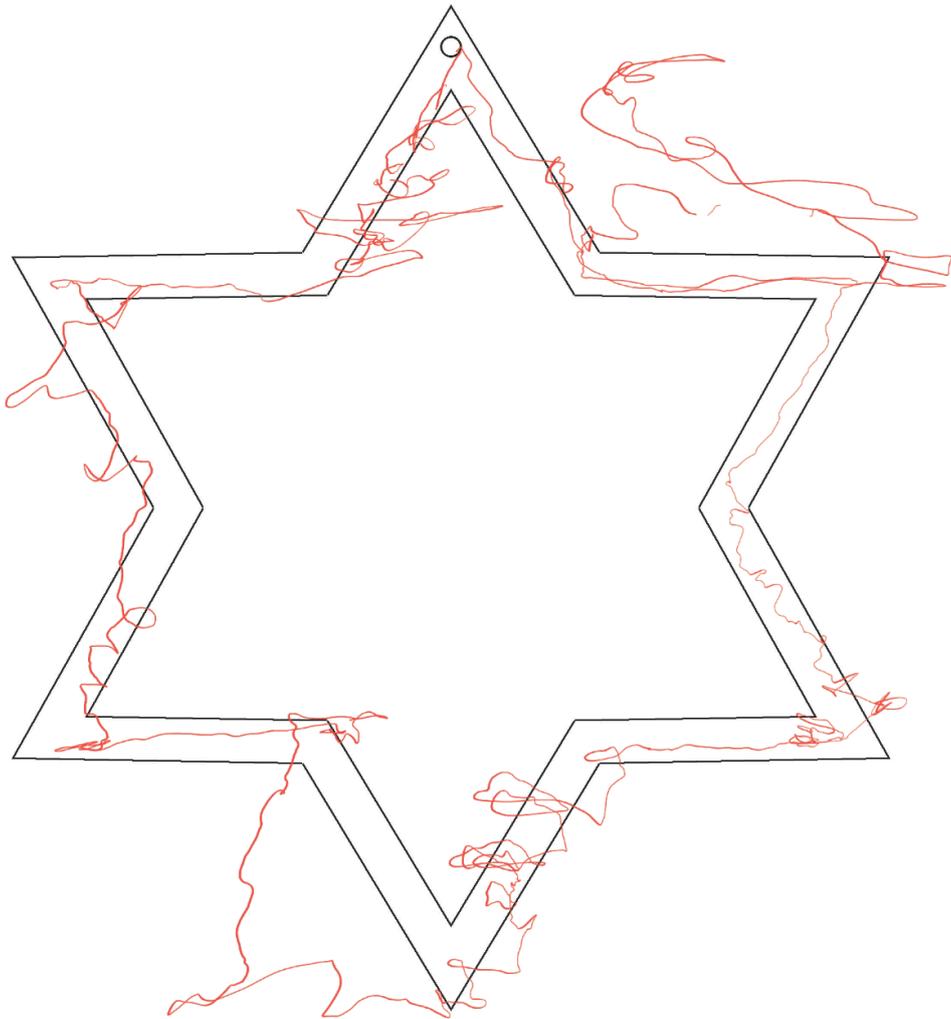
return npix_red, npix_in, npix_out

path = 'example_draw.png'
star_mask_path = 'star_mask.png'

pixels_total, pixels_in, pixels_out = AnalyzeImg(path, star_mask_path)

# Mostra os valores
print(f"
    Total pixels: {pixels_total}
    Pixels in: {pixels_in}
    Pixels out: {pixels_out}
")

```



'example_draw.png'

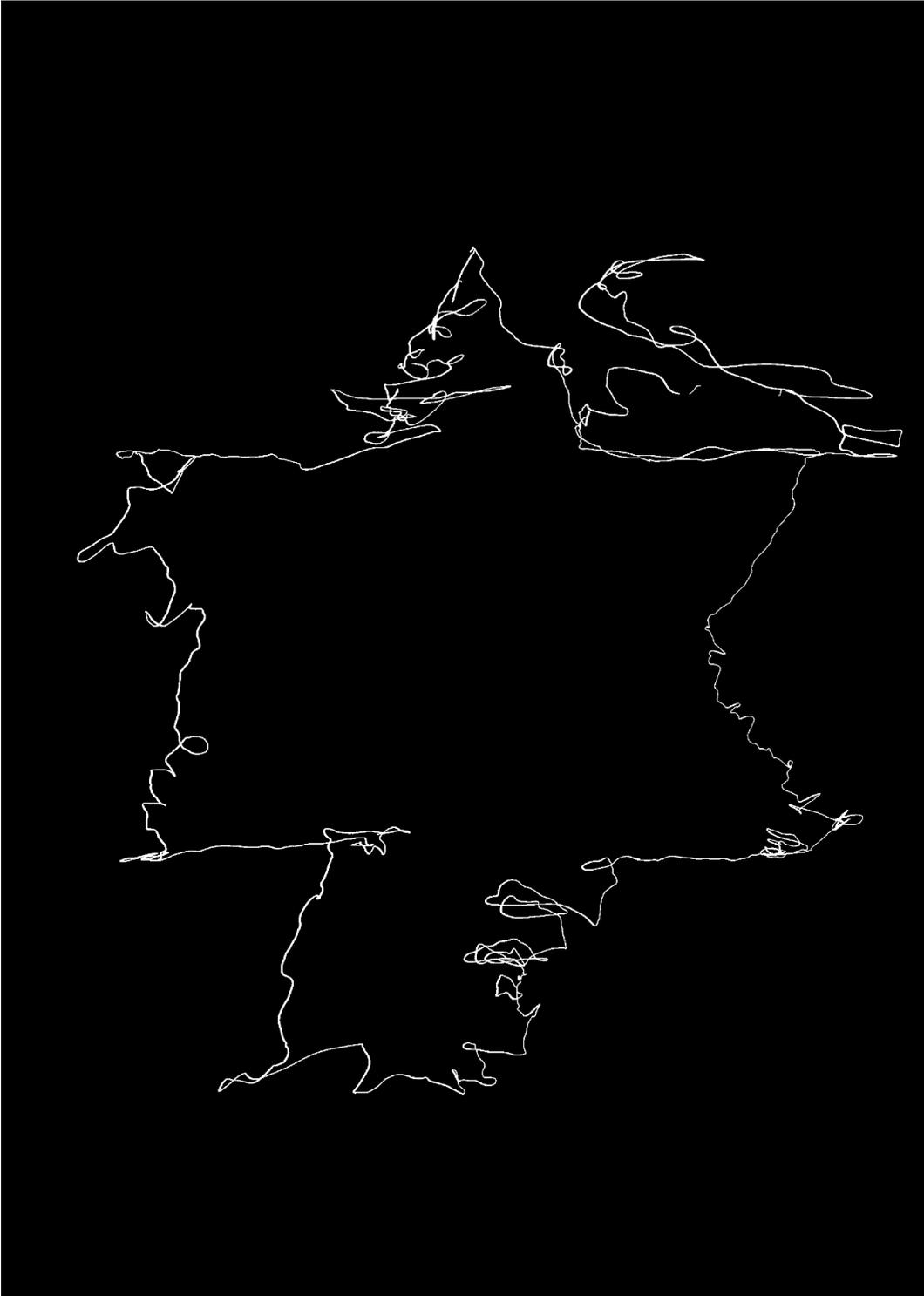


Imagem ilustrativa gravada após a análise. O traçado possui 93195 pixels.

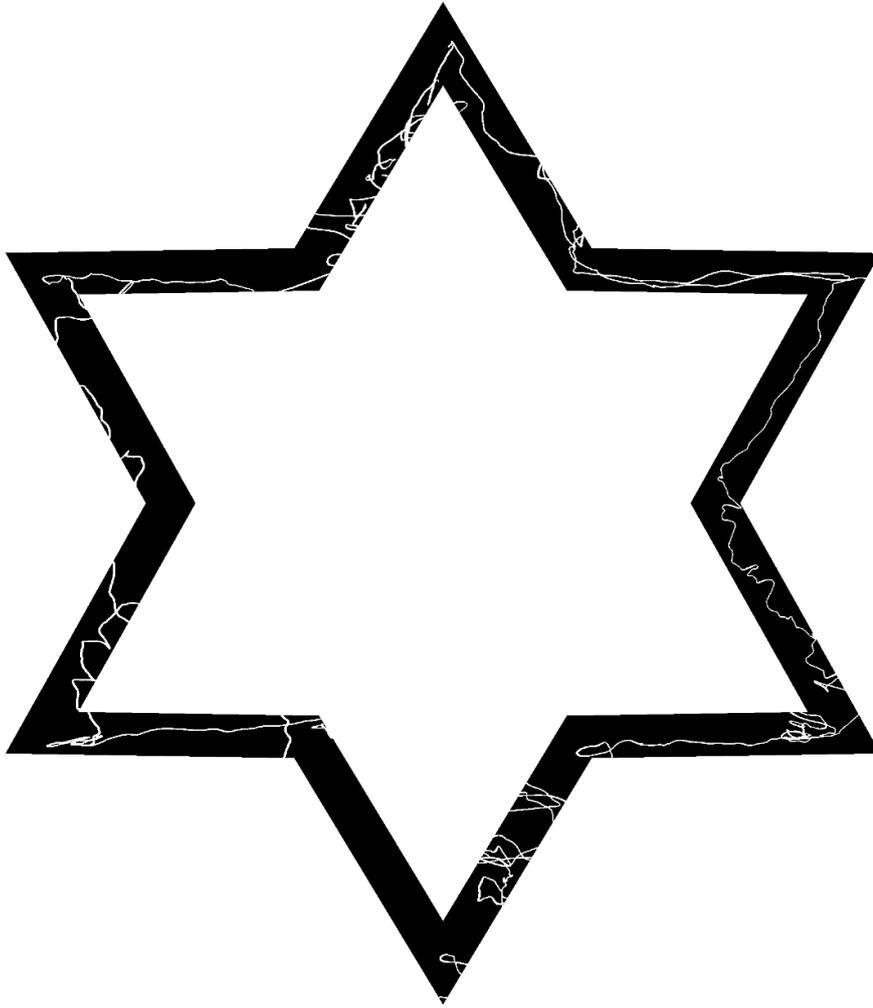


Imagem ilustrativa mostrando a parte do desenho traçada dentro dos limites do modelo (41402 pixels).

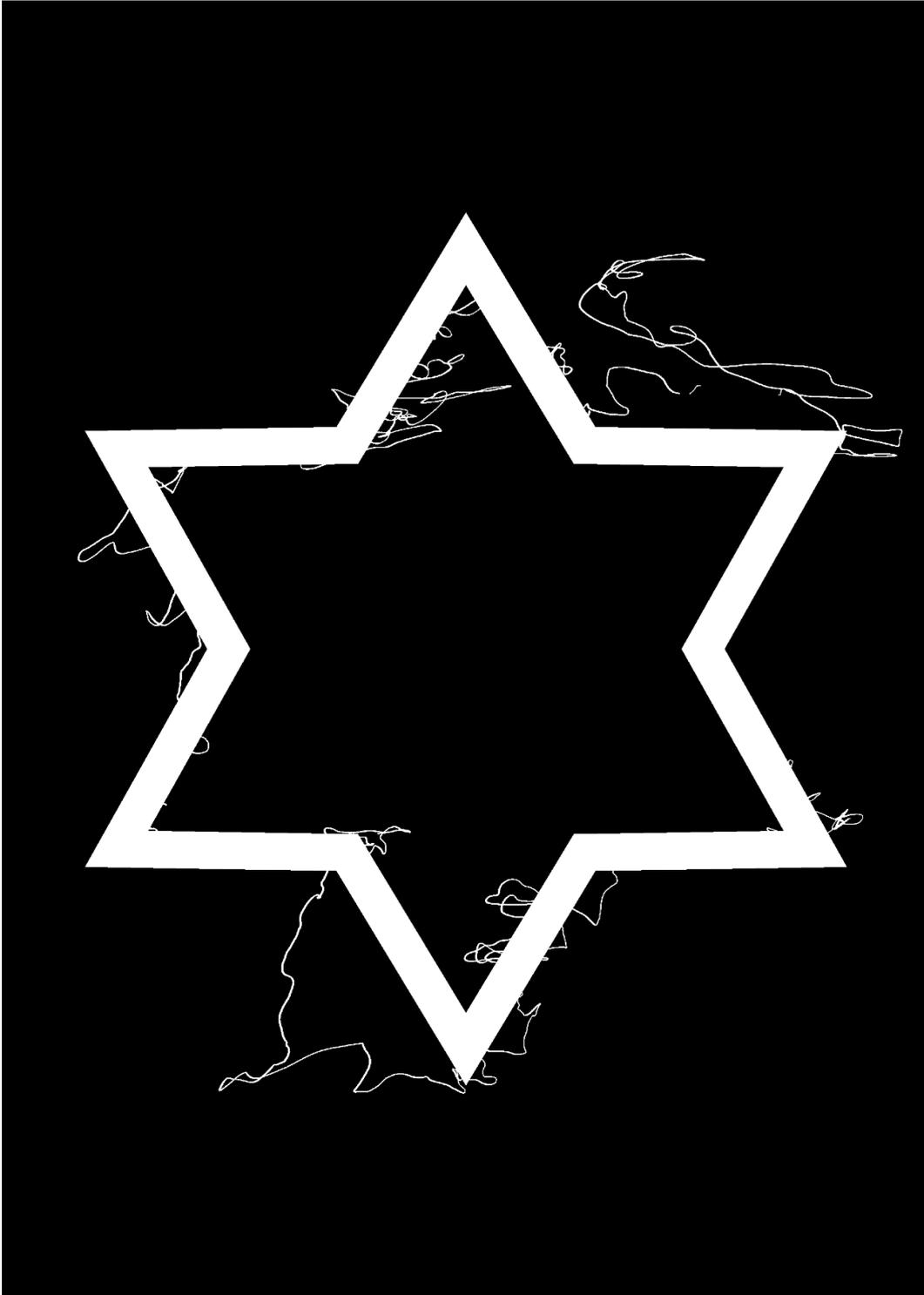


Imagem ilustrativa mostrando a parte do desenho traçada fora dos limites do modelo (51793 pixels).

9.5

Anexo 5 – Tabela de comparações *post hoc* da seção 5.3.1

Bloco	Momento_Espelho_PosicaoInicial_Sexo_01	Momento_Espelho_PosicaoInicial_Sexo_02	MeanDifference	SE	df	t	p	p_holm	reject_p
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d01_f	E3_com_5_d01_f	0,47143	0,36	73	1,3083	0,194462217	0,777848867	FALSO
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d01_m	E3_com_5_d01_m	0,425	0,337	73	1,26089	0,211278353	0,777848867	FALSO
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d02_f	E3_com_5_d02_f	-0,57143	0,321	73	-1,78101	0,079211759	0,396058796	FALSO
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d02_m	E3_com_5_d02_m	-0,2875	0,3	73	-0,95794	0,341057961	0,777848867	FALSO
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d03_f	E3_com_5_d03_f	0,81429	0,311	73	2,619	0,010738927	0,064433561	FALSO
(a). Intradia 5cm	E1_com_5_d03_m	E3_com_5_d03_m	-0,2125	0,291	73	-0,73066	0,467580216	0,777848867	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_f	E1_com_5_d02_f	0,85714	0,369	73	2,32065	0,02297601	0,528448233	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_f	E1_com_5_d03_f	0,3	0,378	73	0,79332	0,429971007	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_f	E3_com_5_d02_f	0,28571	0,357	73	0,80093	0,42612915	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_f	E3_com_5_d03_f	1,11429	0,355	73	3,13887	0,002447499	0,058739967	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_m	E1_com_5_d02_m	-0,075	0,345	73	-0,21708	0,828509876	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_m	E1_com_5_d03_m	-0,075	0,354	73	-0,21202	0,832803233	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_m	E3_com_5_d02_m	-0,3625	0,334	73	-1,08634	0,281347012	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d01_m	E3_com_5_d03_m	-0,2875	0,332	73	-0,86579	0,389347179	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_f	E1_com_5_d03_f	-0,55714	0,392	73	-1,4226	0,159494649	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_f	E3_com_5_d01_f	-0,38571	0,386	73	-1,0001	0,32097504	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_f	E3_com_5_d03_f	0,25714	0,399	73	0,64378	0,521296439	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_m	E1_com_5_d03_m	-2,72E-15	0,366	73	-7,42E-15	1	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_m	E3_com_5_d01_m	0,5	0,361	73	1,38594	0,170257951	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d02_m	E3_com_5_d03_m	-0,2125	0,374	73	-0,56874	0,571655144	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d03_f	E3_com_5_d01_f	0,17143	0,464	73	0,3695	0,712853563	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d03_f	E3_com_5_d02_f	-0,01429	0,396	73	-0,0361	0,971312394	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d03_m	E3_com_5_d01_m	0,5	0,434	73	1,1521	0,253049785	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E1_com_5_d03_m	E3_com_5_d02_m	-0,2875	0,37	73	-0,7766	0,439653539	1	FALSO

(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d01_f	E3_com_5_d02_f	-0,18571	0,369	73	-0,50395	0,616283278	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d01_f	E3_com_5_d03_f	0,64286	0,48	73	1,33922	0,18463086	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d01_m	E3_com_5_d02_m	-0,7875	0,345	73	-2,28447	0,025367717	0,558089781	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d01_m	E3_com_5_d03_m	-0,7125	0,449	73	-1,58679	0,116866852	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d02_f	E3_com_5_d03_f	0,82857	0,432	73	1,92016	0,059024467	1	FALSO
(b). Entre dias. 5cm.	E3_com_5_d02_m	E3_com_5_d03_m	0,075	0,404	73	0,18581	0,853239153	1	FALSO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E1_com_5_d01_f	E1_com_5_d01_m	1,82321	0,51	73	3,57439	0,000625813	0,003129067	VERDADEIRO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E1_com_5_d02_f	E1_com_5_d02_m	0,89107	0,525	73	1,69732	0,093904316	0,187808631	FALSO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E1_com_5_d03_f	E1_com_5_d03_m	1,44821	0,61	73	2,37391	0,020222504	0,080890017	FALSO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E3_com_5_d01_f	E3_com_5_d01_m	1,77679	0,441	73	4,03109	0,000135817	0,000814903	VERDADEIRO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E3_com_5_d02_f	E3_com_5_d02_m	1,175	0,54	73	2,17724	0,032797918	0,098393753	FALSO
(c). Entre sujeitos. 5cm.	E3_com_5_d03_f	E3_com_5_d03_m	0,42143	0,604	73	0,69734	0,487561399	0,487561399	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d01_f	E3_com_26_d01_f	-0,42857	0,379	73	-1,12978	0,26184428	1	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d01_m	E3_com_26_d01_m	-0,0625	0,355	73	-0,17613	0,860737168	1	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d02_f	E3_com_26_d02_f	-1,4E-14	0,388	73	-3,62E-14	1	1	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d02_m	E3_com_26_d02_m	-0,175	0,363	73	-0,48177	0,631181726	1	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d03_f	E3_com_26_d03_f	-0,17143	0,356	73	-0,48154	0,631569683	1	FALSO
(d). Intradia 26cm	E1_com_26_d03_m	E3_com_26_d03_m	-0,1875	0,333	73	-0,56305	0,575117306	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_f	E1_com_26_d02_f	0,77143	0,421	73	1,83285	0,070973965	0,993635513	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_f	E1_com_26_d03_f	1,87143	0,509	73	3,67753	0,000448438	0,010314082	VERDADEIRO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_f	E3_com_26_d02_f	0,77143	0,383	73	2,01464	0,04767618	0,732887008	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_f	E3_com_26_d03_f	1,7	0,567	73	2,99889	0,00371066	0,077923858	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_m	E1_com_26_d02_m	0,5875	0,394	73	1,49223	0,140239574	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_m	E1_com_26_d03_m	0,475	0,476	73	0,99787	0,321624618	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_m	E3_com_26_d02_m	0,4125	0,358	73	1,15166	0,252984104	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d01_m	E3_com_26_d03_m	0,2875	0,53	73	0,54218	0,589158836	1	FALSO

(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_f	E1_com_26_d03_f	1,1	0,446	73	2,46779	0,015997328	0,287951903	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_f	E3_com_26_d01_f	-1,2	0,52	73	-2,30965	0,023853199	0,40550438	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_f	E3_com_26_d03_f	0,92857	0,528	73	1,75844	0,082826939	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_m	E1_com_26_d03_m	-0,1125	0,417	73	-0,26981	0,788087472	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_m	E3_com_26_d01_m	-0,65	0,486	73	-1,33744	0,185228546	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d02_m	E3_com_26_d03_m	-0,3	0,494	73	-0,60734	0,545544573	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d03_f	E3_com_26_d01_f	-2,3	0,589	73	-3,90402	0,002028286	0,004998862	VERDADEIRO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d03_f	E3_com_26_d02_f	-1,1	0,412	73	-2,66745	0,009346459	0,186929171	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d03_m	E3_com_26_d01_m	-0,5375	0,551	73	-0,97535	0,332534334	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E1_com_26_d03_m	E3_com_26_d02_m	-0,0625	0,386	73	-0,16202	0,871818465	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d01_f	E3_com_26_d02_f	1,2	0,472	73	2,54268	0,013131014	0,249489266	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d01_f	E3_com_26_d03_f	2,12857	0,633	73	3,3643	0,001231832	0,027100303	VERDADEIRO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d01_m	E3_com_26_d02_m	0,475	0,441	73	1,07597	0,284983323	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d01_m	E3_com_26_d03_m	0,35	0,592	73	0,59138	0,556201855	1	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d02_f	E3_com_26_d03_f	0,92857	0,457	73	2,03219	0,045805438	0,732887008	FALSO
(e). Entre dias. 26cm.	E3_com_26_d02_m	E3_com_26_d03_m	-0,125	0,427	73	-0,29245	0,770551343	1	FALSO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E1_com_26_d01_f	E1_com_26_d01_m	1,33571	0,493	73	2,70712	0,008395209	0,041976044	VERDADEIRO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E1_com_26_d02_f	E1_com_26_d02_m	1,15179	0,716	73	1,60903	0,112010535	0,44804214	FALSO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E1_com_26_d03_f	E1_com_26_d03_m	-0,06071	0,876	73	-0,06934	0,944937411	1	FALSO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E3_com_26_d01_f	E3_com_26_d01_m	1,70179	0,54	73	3,15251	0,002356415	0,01413849	VERDADEIRO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E3_com_26_d02_f	E3_com_26_d02_m	0,97679	0,657	73	1,48605	0,141389322	0,44804214	FALSO
(f). Entre sujeitos. 26cm.	E3_com_26_d03_f	E3_com_26_d03_m	-0,07679	0,956	73	-0,08029	0,936199162	1	FALSO

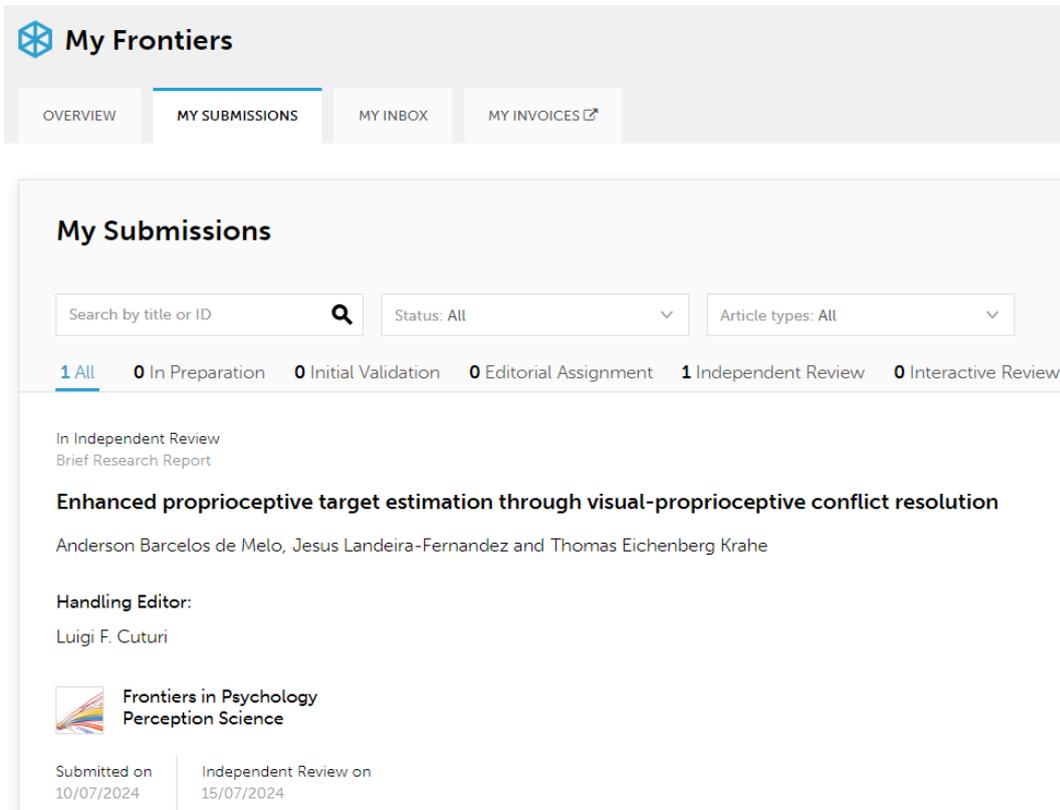
9.6

Anexo 6 – Tabela com as correlações entre erros e índices (seção 5.3.2)

Índice de Conformidade								
Posição Inicial 5cm					Posição Inicial 26cm			
Com Espelho			Sem Espelho		Com Espelho		Sem Espelho	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Agregado	-0,47	0,0011	-0,395	0,0073	-0,379	0,0102	-0,186	0,2216
Mulheres	-0,456	0,0378	-0,39	0,0809	-0,462	0,0348	-0,305	0,1784
Homens	-0,305	0,1468	-0,297	0,1581	-0,264	0,2125	-0,073	0,7336

Índice de Velocidade								
Posição Inicial 5cm					Posição Inicial 26cm			
Com Espelho			Sem Espelho		Com Espelho		Sem Espelho	
	r	p	r	p	r	p	r	p
Agregado	-0,058	0,7036	0,038	0,8028	-0,407	0,0055	-0,159	0,2956
Mulheres	0,365	0,1038	0,468	0,0324	-0,184	0,4257	0,257	0,2613
Homens	-0,239	0,261	-0,225	0,2897	-0,504	0,0121	-0,39	0,0599

9.7

Anexo 7 – Artigo submetido para a revista *Frontiers in Psychology*

My Frontiers

OVERVIEW | **MY SUBMISSIONS** | MY INBOX | MY INVOICES ↗

My Submissions

Search by title or ID 🔍 | Status: All ▾ | Article types: All ▾

[1 All](#) | [0 In Preparation](#) | [0 Initial Validation](#) | [0 Editorial Assignment](#) | [1 Independent Review](#) | [0 Interactive Review](#)

In Independent Review
Brief Research Report

Enhanced proprioceptive target estimation through visual-proprioceptive conflict resolution

Anderson Barcelos de Melo, Jesus Landeira-Fernandez and Thomas Eichenberg Krahe

Handling Editor:
Luigi F. Cuturi

 Frontiers in Psychology
Perception Science

Submitted on 10/07/2024 | Independent Review on 15/07/2024

Tela mostrando detalhes da submissão. Manuscrito ID nº 1462934.

Enhanced proprioceptive target estimation through visual-proprioceptive conflict resolution

Anderson Barcelos de Melo¹, Jesus Landeira-Fernandez¹, Thomas Eichenberg Krahe^{1*}

¹ Departamento de Psicologia, Laboratório de Neurociência do Comportamento, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea -Rio de Janeiro, RJ, 22451-900, Brazil.

***Correspondence:**

Thomas E. Krahe

Department of Psychology, Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Rua Marquês de São Vicente 225, Gávea, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22451-900, Brazil. e-mail: tekrahe@puc-rio.br

Keywords: Multisensory Integration, Visuo-proprioceptive Conflict, Embodiment, Mirror Box Illusion, Mirror Drawing, Star-tracing, Reaching movements, Visuo-proprioceptive recalibration.

This article contains 3551 words.

Abstract

To form a unified and coherent perception of the organism's state and its relationship with the surrounding environment, the nervous system combines information from various sensory modalities through multisensory integration processes. Occasionally, data from two or more sensory channels may provide conflicting information. This is particularly evident in experiments using the mirror-guided drawing task and the mirror-box illusion, where there is conflict between positional estimates guided by vision and proprioception. This study combined two experimental protocols (the mirror-box and the mirror-guided drawing tasks) to examine whether the learned resolution of visuo-proprioceptive conflicts in the mirror-guided drawing task would improve proprioceptive target estimation of men and women during the mirror-box test. Our results confirm previous findings of visual reaching bias produced by the mirror-box illusion and show that this effect is progressively reduced by improvement in the mirror drawing task

performance. However, this was only observed in women. We discuss these findings in the context of possible gender differences in multisensory integration processes as well as in embodiment.

Introduction

The concept of embodiment refers to the idea that cognitive processes are deeply rooted in the body's interactions with the environment, and that perception is intrinsically linked to both sensory and motor processes (Fuchs and Schlimme, 2009; Craighero, 2014; Varela et al., 2016; Shapiro, 2019). From a more specific perspective, embodiment represents the subjective sensation associated with possessing and disposing of one's own body (Longo et al., 2008; Medina et al., 2015). In this sense, several authors have shown the importance of research on embodiment for understanding the mechanisms of multisensory integration (Botvinick and Cohen, 1998; Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005; Miall and Cole, 2007; Longo et al., 2008; Otsuru et al., 2014; Diers et al., 2015; Medina et al., 2015; Vecchiato et al., 2015; Liu and Medina, 2017, 2018; Carey et al., 2019; Giroux et al., 2019; Leach and Medina, 2022; Ambron and Medina, 2023; Ding et al., 2023). Additionally, findings show the relevance of the sense of embodiment in various clinical applications, such as the treatment of "phantom pain" in amputees (Ramachandran et al., 1995; Schmalzl et al., 2013; Collins et al., 2018; Kundi and Spence, 2023), improvement of motor function after stroke (Thieme et al., 2018; Lee and Lee, 2019; Kundi and Spence, 2023), management of body image and eating disorders (Griffen et al., 2018), alleviation of motor symptoms associated with multiple sclerosis (Tekeoglu Tosun et al., 2021), and rehabilitation of complex regional pain syndrome (Al Sayegb et al., 2013).

The mirror therapy technique stands out as a powerful tool for understanding the processes related to multisensory integration and embodiment, particularly to those, but not limited to, the alleviation of symptoms associated with "phantom limb" pain (Dohle et al., 2019). Amputee patients undergoing this therapy often report that the sight of the reflection of their remaining limb in motion or being stimulated is perceived as their missing limb - a phenomenon termed mirror visual feedback (Ramachandran et al., 1995; Ramachandran and Rodgers-Ramachandran, 1996; Deconinck et al., 2015). Despite the established effectiveness of the technique in clinical settings, the underlying mechanisms still needs further elucidation (Dohle et al., 2019). Nevertheless, it is widely

acknowledged that the process of embodiment during mirror feedback involves the integration of various sensory modalities such as kinesthesia (movement), touch, vision, and proprioception (Holmes et al., 2004). The latter, encompasses sensory information from the joints, muscles, and tendons, contributing to our perception of body positioning and movement in space. It is important to note that, in the literature, the terms proprioception and kinesthesia are sometimes used interchangeably (Stillman, 2002), whereas for others, kinesthesia specifically denotes the perception of movement (C. B. Swanik et al., 2004; K. A. Swanik et al., 2002). There is also an understanding that kinesthesia is a subset of proprioception (Lephart et al., 1997; Myers et al., 1999). Yet, most commonly, proprioception is defined broadly, to include the sense of movement (Han et al., 2016; Tuthill and Azim, 2018; Blum et al., 2021; Moon et al., 2021), playing a pivotal role in the embodiment process during mirror therapy (Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005; Medina et al., 2015; Leach and Medina, 2022). Beyond its clinical applications, the concept underpinning mirror therapy serves as a valuable research tool for investigating visual-proprioceptive conflicts and expand our understanding of embodiment (Lajoie et al., 1992; Maravita et al., 2003; Holmes and Spence, 2004). For instance, discordant visual and proprioceptive-placement information significantly impacts the accuracy of target-reaching movements made with the unseen arm in non-clinical samples of young adults (Holmes and Spence, 2004; Holmes et al., 2004).

The mirror drawing task stands as another common method to induce visuo-proprioceptive conflicts, wherein vision supersedes proprioception in resolving such conflicts (Lajoie et al., 1992; Balslev et al., 2004; Miall and Cole, 2007; Miall et al., 2021). A good illustration of this phenomenon is observed in the star-tracing drawing task where individuals must outline the reflected image of a six-pointed star, allowing for the assessment of how visual and proprioceptive information are integrated and modified through learning processes (Lajoie et al., 1992). Intriguingly, research has demonstrated that this ability is compromised in individuals afflicted with mirror agnosia and mirror ataxia (Ramachandran et al., 1997; Binkofski et al., 1999), whereas patients experiencing selective loss of proprioceptive afferent inputs show no visuo-proprioceptive conflicts (Lajoie et al., 1992; Balslev et al., 2004; Miall and Cole, 2007; Miall et al., 2021).

To further shed light on the specific roles of vision and proprioception in how the visuo-proprioceptive conflicts are resolved and given that previous findings show

that visuomotor adaptation is followed by proprioceptive recalibration (Cressman and Henriques, 2009, 2010, 2011; Cressman et al., 2010; Henriques and Cressman, 2012; Flannigan et al., 2018), we integrated both the mirror box and the six-pointed star approaches to assess the sense of embodiment among a sample of non-clinical participants. Furthermore, given previous findings suggesting sex differences in embodiment perception (Egsgaard et al., 2011), we also compared the performance of men and women.

Methods

Participants

Fifteen subjects (7 women and 8 men, mean age 42.3 ± 3.69 years) were recruited to participate in the study. All participants were right-handed, without visual problems or corrected vision, and were naïve to the purpose of the study. The study was approved by the Brazilian Ethics Committee (CEP/CONEP, # 63845022.3.0000.5281), ensuring that all procedures complied with ethical guidelines. All participants gave their informed consent prior the start of data collection.

Materials

A mirror box similar to the one used by Holmes and colleagues (2004; 2005) was used for the distance estimation task (reproduction of target position; Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005). Briefly, a wooden parallelepiped (45 width x 45 length x 20 height, cm) without two opposite sidewalls was placed on a table (Supplemental figure 1). The outward face of one of the remaining sidewalls had a slot to accommodate a removable mirror (45 cm x 30 cm). Three marks, only visible to the experimenter, were placed 5, 12, and 26 cm to the left of the mirror. The middle mark was considered the target position and the other two, starting positions. To indicate the location of the target position to the participant, a cardboard with a downward arrow was positioned on the top surface of the parallelepiped (Supplemental figure 1). A black cloth was used to cover the participant's right arm and shoulder, occluding the view of their right hand.

For the start tracing task, a second wooden parallelepiped (45 width x 30 length x 20 height, cm), without two opposite sidewalls (30 length x 20 height, cm), and with a rectangular opening on one of the remaining sidewalls, was placed 5 cm to

the right of the mirror (Supplemental figure 2). A tablet (Samsung Galaxy Tab S6 Lite) was positioned inside the parallelepiped allowing the participant to see its reflection but preventing them to look directly at it (Supplemental figure 2). An image of a six-pointed star (2490 x 3510 pixels, 300 dpi) was displayed on the tablet for the star tracing task (Supplemental figures 2 and 3).

Procedures

With the participant sitting at the table facing the mirror box was asked to put their left arm inside the mirror box and the index finger of the other arm 12 cm to the right of the mirror (Supplemental figure 4). The experimenter covered the left arm and shoulder of the participant with the black cloth and sat on the other side of the table facing the participant. Next, the experimenter placed the left index finger of the participant (the one inside the box) at either 5 cm or 26 cm starting positions. At this first stage the mirror was not positioned in the slot (no-mirror condition) and the participant was instructed to tap both index fingers synchronously at a frequency of 170 BPM (2.83 Hz) defined by a metronome (Medina et al., 2015). After six seconds, the experimenter asked the participant to reach, with their left index finger, the “target” position (indicated by the downward arrow sign on top of the box). Then the experimenter measured the distance (cm) from the target to the participant’s reached position (error). The task was repeated until 5 measurements were completed for each start position (5 cm and 26 cm) alternately, totaling 10 attempts. The same procedure and number of repetitions were done with the mirror inserted in the slot. While synchronously tapping the participant was instructed to keep looking at the reflection of their right hand on the mirror (mirror condition; Supplemental figure 4). On the first day, there was a training session to familiarize the participants with the task (Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005).

Next, with the start-tracing setup in place, the participant was asked to draw the outline of the 6-pointed star looking at the reflection of the image (Supplemental figure 5). The experimenter positioned the tip of the pen at the top point of the start and the participant had to choose whether they would like to outline the star in a counter- or clockwise direction. They were asked to complete the drawing the best way possible and in the shortest period of time. The participant was asked to repeat this sequence 10 times and, for each one, the image was captured, and the completion time recorded. Prior to the mirror tracing task, each

participant had to do the outlining of the start image three times but looking directly at the tablet.

After completing the star tracing sessions, the participant repeated the protocol for the reaching target task in the mirror condition and, right after, the same protocol, but in the no-mirror condition (Supplemental figure 6). The same sequence of experiments was repeated two more times, with a minimum interval of 24 hours and a maximum of 72 hours between sessions (36.8 ± 3.2 hours).

Data Analysis

Data analysis was performed using Python (version 3.10.10) and Jamovi software (version 2.2.5). Reaching task results were repeated-measures (rANOVA), with sex (men and women) as the between-subject factors and mirror (with and no-mirror), initial position (left hand, 5 or 26 cm), reaching phase (before or after star-tracing), and session (first, second or third day of testing) as within-subjects factor. Data from the star-tracing task were analyzed using a Python script (Supplementary materials). Based on the number of pixels drawn within and outside the star's outline, as well as the total number of pixels, an accuracy index (I_{acc}) was calculated:

$$I_{acc} = \frac{p_{ideal}}{p_{drawn}} \times \frac{p_{within}}{p_{draw}}$$

, where:

- p_{drawn} is the total number of pixels drawn (within and outside the star outline).
- p_{within} is the number of pixels drawn within the star outline limits.
- p_{ideal} is the total number of pixels of a perfect outline (12 straight lines).

A second index was calculated for the speed of execution of the star-tracing task by comparing tracing times in the mirror condition against those obtained outlining of start looking directly at it (i.e., not its reflection):

$$I_{speed} = \frac{\Delta t_{base}}{\Delta t_{drawing}}$$

, where:

- Δt_{base} is the mean time (3 trials) to outline the star looking at it.
- $\Delta t_{drawing}$ is the time to outline the star's reflection.

Indices of 0.0 denote both the lowest accuracy and speed values, whereas

indices of 1.0 denote highest accuracy and speed. To evaluate participants' performance in the star tracing task, a repeated measures rANOVA was performed, with day as the within-subject factor, and sex as the between-subjects factor. To determine the effect size of rANOVA factors the partial eta squared (η^2) was calculated. Additionally, a correlation analysis was conducted between the indices and the errors made in the target position reproduction task. All data is shown as mean and \pm SEM (unless otherwise mentioned). T-tests were used to assess group differences, with p-values corrected for multiple comparisons using the Bonferroni-Holm method. Significance was assumed at the level of $p < 0.05$, two-tailed.

Results

The rANOVA for the reaching task results showed significant effects for the within-subject factors: *mirror* [$F(1, 73) = 31.04, p < 0.001, \eta^2 = 0.298$], *initial position* [$F(1, 73) = 174.70, p < 0.001, \eta^2 = 0.705$]. In accordance to previous findings (Holmes et al., 2004; Holmes & Spence, 2005; Medina et al., 2015), our results indicate that errors in reaching the target position were greater in the mirror condition compared to the no-mirror condition, with the magnitude of these errors being more pronounced from the farthest start position (26 cm) than from the closest one (5 cm; Figure 1). Results from all sessions were pooled together since the interaction *mirror x initial position x session* did not reach significance [$F(2, 146) = 1.097, p = 0.337, \eta^2 = 0.015$].

<figure 1>

The rANOVA for the reaching task data also indicated significant effects for the within-subject factor *session* [$F(2, 146) = 8.57, p < 0.001, \eta^2 = 0.105$], and for the between-subjects factor *sex* [$F(1, 73) = 4.09, p < 0.05, \eta^2 = 0.053$]. There were also significant interactions between *mirror x initial position* [$F(1, 73) = 389.14, p < 0.001, \eta^2 = 0.842$], and *reaching phase x mirror x initial position x session x sex* [$F(2, 146) = 4.079, p < 0.02, \eta^2 = 0.053$]. Figure 2 illustrates the influence of the star tracing task on the estimation error of participants in the reaching task for men and women. In the first session, while women initially displayed better estimation values at the closest starting position compared to men (Figures 2A and C), we observed the opposite trend for the furthest position (Figures 2B and D). Note that there were no significant improvements in performance across sessions for reaching the target from the closest position for both men and

women (Figure 2A and B). Remarkably, however, while men's estimation of the target position did not change across sessions for both reaching conditions (5 cm and 26 cm), women showed a progressive decrease in reaching errors when starting from the farthest start position (26 cm; Figures 2C and D). The same result was not observed when considering the start from the closest position (Figures 2A and B). Moreover, women's improvement on estimation of the target position (Figures 2C and D) was only apparent from session to session since errors before and after star tracing within the same session were similar.

<figure 2>

The rANOVA for the accuracy index results revealed significant main effects of session [$F(2,296) = 195.6, p < 0.001, \eta^2 = 0.569$] and sex [$F(1,148) = 43.2, p < 0.001, \eta^2 = 0.226$], as well a significant interaction between these two factors [$F(2,296) = 24.2, p < 0.001, \eta^2 = 0.141$], whereas the analysis of the speed index showed significant effects of session [$F(2,296) = 132.61, p < 0.001, \eta^2 = 0.473$] and sex [$F(1,148) = 23.1, p < 0.001, \eta^2 = 0.135$], but no interaction between these two factors [$F(2,296) = 1.57, p = 0.21, \eta^2 = 0.01$]. Although both sexes showed a clear improvement in both accuracy and speed in the star-tracing task over testing sessions, the overall performance of women was always worse compared to that observed for men (Figure 2A and B). For representative man and woman star-tracing performances, please see Supplemental figure 7. Moreover, women showed the largest improvement in star-tracing accuracy (Figure 2A).

<figure 3>

Having found significant differences in performance over sessions and between sexes for both reaching target and star-tracing tasks, we next investigated possible relationships between reaching errors and star-tracing indices. Since no significant effect for reaching phase [$F(1,73) = 0.578, p = 0.449, \eta^2 = 0.008$], nor interaction between reaching phase x session [$F(2,146) = 0.361, p = 0.697, \eta^2 = 0.005$] was found, reaching target errors before and after star-tracing within each session were aggregated as average errors. Due to the aim of the study and space limitations, only correlations for the mirror condition are showed (Figure 4). Interestingly, correlations involving accuracy indices (Figure 4A and C) were found to be significant for women (5 cm, $R = -0.456, p < 0,05$; 26 cm = $-0,462, p < 0,05$), but not for men (5 cm, $R = -0,305, p = 0,15$; 26 cm, $R = -0,264, p = 0,21$).

In contrast, the correlation between speed index values and farthest-reaching errors only reached statistical difference for men (men, $R = -0,504$, $p < 0,05$; women, $R = -0,184$, $p = 0,43$).

<figure 4>

Discussion

Our results support previous studies showing that the mirror box illusion alters participants' perception of the hidden hand's position. We confirmed that by believing the reflected hand is their 'real hand' significantly alters the perceived position of the hidden hand (Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005; Medina et al., 2015; Liu and Medina, 2018),. The novelty of our findings is showing that this embodiment effect was progressively cancelled by the introduction of the star-tracing task. Yet, this was only true for females and if we consider errors associated to the furthest distance from the target.

Visuo-proprioceptive conflicts impacting the accuracy of target-reaching movements made with the unseen hand (Holmes et al., 2004; Holmes and Spence, 2005; Medina et al., 2015; Liu and Medina, 2018) can also be influenced by one's embodiment experience. (Medina et al., 2015; Liu and Medina, 2017, 2018). The position of the hidden hand is a weighted average of sensory feedback and integration arising from different sensory modalities (Van Beers et al., 1999; Ernst and Banks, 2002; Ernst and Bühlhoff, 2004; Guerraz et al., 2012). In experiments with visual-proprioceptive discrepancies, visual information gains more weight, thus reducing proprioceptive accuracy and causing positional bias (BALSLEV et al., 2004; BERNIER et al., 2009; GUERRAZ et al., 2012).

In a similar manner, Lajoie et al. (1992) showed in their seminal paper that visual-proprioceptive conflicts occur in the mirror star-tracing task. It was demonstrated that a patient with severe proprioceptive deficits outperformed controls from the outset, while controls only achieved similar performances after resolving visuo-proprioceptive conflicts through mirror star-tracing practice. This suggests the necessity of implicit motor learning to recalibrate their visual-proprioceptive spatial representation. This understanding is supported by another study in which TMS was used to disrupt the proprioceptive processing of participants, thereby improving their performance in mirror-guided tasks (BALSLEV et al., 2004). Moreover, it was later demonstrated that at the beginning of mirror-guided tasks,

where visual-proprioceptive conflicts are stronger, there is significant suppression of primary somatosensory cortex activation by prefrontal cortex inputs, which wanes with task repetition (Bernier et al., 2009).

By using a protocol that combines mirror reaching (Holmes, 2004; 2005) and mirror star-tracing tasks (Lajoie et al., 1992), we demonstrate that resolving visual-proprioceptive conflicts in the latter improves participants' performance in reaching target estimations. However, it is important to note that the improvement in performance in reaching the target from the farthest position is noticeable only across the three sessions of the experiment, not within the same day. This suggests that recalibration of visual-proprioceptive target estimation depends on the performance improvement observed in the mirror star-tracing task over time, indicating a cognitive process involving long-term consolidation of implicit memory (Salomonczyk et al., 2011; Tibi et al., 2013; Voges et al., 2015; Maksimovic and Cressman, 2018; Neville and Cressman, 2018; Hadjiosif et al., 2023). Previous studies demonstrating improvement in mirror star-tracing task performance have shown that this change relies on implicit memory consolidation (Corkin, 1968, 2002; Shadmehr et al., 1998). Moreover, our findings suggest the possible influence of sleep on the consolidation of cognitive processes associated with the observed visuo-proprioceptive conflict suppression (Rauchs et al., 2005), which presents an intriguing possibility for future studies. Furthermore, the observation that this improvement in performance in reaching target estimation was evident only in women also calls for further investigation. While embodiment differences between men and women have been previously demonstrated (EGSGAARD et al., 2011), the understanding of the underlying mechanisms remains elusive. Nevertheless, we cannot dismiss the potential clinical applications of visual-proprioceptive conflict elimination, especially in psychiatric conditions such as eating disorders and schizophrenia, where heightened embodiment in visual illusions is observed (Peled et al., 2000; Thakkar et al., 2011; Eshkevari et al., 2012; Ferri et al., 2014). Given the higher prevalence of eating disorders among women, understanding perceptual processes could be crucial in their etiology and treatment (Griffen et al., 2018; Qian et al., 2022).

References

Al Sayegb, S., Filén, T., Johansson, M., Sandström, S., Stiewe, G., and Butler, S. (2013). Mirror therapy for Complex Regional Pain Syndrome (CRPS)-A literature review and an illustrative case report. *Scand J Pain* 4, 200–207. doi: 10.1016/J.SJPAIN.2013.06.002

Ambrosio, E., and Medina, J. (2023). Examining constraints on embodiment using the Anne Boleyn illusion. *J Exp Psychol Hum Percept Perform* 49, 877–892. doi: 10.1037/XHP0001125

Balslev, D., Christensen, L. O. D., Lee, J. H., Law, I., Paulson, O. B., and Miall, R. C. (2004). Enhanced accuracy in novel mirror drawing after repetitive transcranial magnetic stimulation-induced proprioceptive deafferentation. *Journal of Neuroscience* 24, 9698–9702. doi: 10.1523/JNEUROSCI.1738-04.2004

Bernier, P. M., Burle, B., Vidal, F., Hasbroucq, T., and Blouin, J. (2009). Direct evidence for cortical suppression of somatosensory afferents during visuomotor adaptation. *Cereb Cortex* 19, 2106–2113. doi: 10.1093/CERCOR/BHN233

Binkofski, F., Buccino, G., Dohle, C., Seitz, R. J., and Freund, H. J. (1999). Mirror agnosia and mirror ataxia constitute different parietal lobe disorders. *Ann Neurol* 46. doi: 10.1002/1531-8249(199907)46:1<51::AID-ANA9>3.0.CO;2-Q

Blum, K. P., Versteeg, C., Sombeck, J., Chowdhury, R. H., and Miller, L. E. (2021). Proprioception: A sense to facilitate action. *Somatosensory Feedback for Neuroprosthetics*, 41–76. doi: 10.1016/B978-0-12-822828-9.00017-4

Botvinick, M., and Cohen, J. (1998). Rubber hands “feel” touch that eyes see [8]. *Nature* 391, 756. doi: 10.1038/35784

Carey, M., Crucianelli, L., Preston, C., and Fotopoulou, A. (2019). The Effect of Visual Capture Towards Subjective Embodiment Within the Full Body Illusion. *Sci Rep* 9. doi: 10.1038/s41598-019-39168-4

Collins, K. L., Russell, H. G., Schumacher, P. J., Robinson-Freeman, K. E., O’Conor, E. C., Gibney, K. D., et al. (2018). A review of current theories and treatments for phantom limb pain. *Journal of Clinical Investigation* 128, 2168–2176. doi: 10.1172/JCI94003

- Corkin, S. (1968). Acquisition of motor skill after bilateral medial temporal-lobe excision. *Neuropsychologia* 6, 255–265. doi: [https://doi.org/10.1016/0028-3932\(68\)90024-9](https://doi.org/10.1016/0028-3932(68)90024-9)
- Corkin, S. (2002). What's new with the amnesic patient H.M.? *Nat Rev Neurosci* 3, 153–160. doi: [10.1038/NRN726](https://doi.org/10.1038/NRN726)
- Craighero, L. (2014). The role of the motor system in cognitive functions. *The Routledge Handbook of Embodied Cognition*, 51–58. doi: [10.4324/9781315775845-14](https://doi.org/10.4324/9781315775845-14)
- Cressman, E. K., and Henriques, D. Y. P. (2009). Sensory recalibration of hand position following visuomotor adaptation. *J Neurophysiol* 102, 3505–3518. doi: [10.1152/jn.00514.2009](https://doi.org/10.1152/jn.00514.2009)
- Cressman, E. K., and Henriques, D. Y. P. (2010). Reach adaptation and proprioceptive recalibration following exposure to misaligned sensory input. *J Neurophysiol* 103, 1888–1895. doi: [10.1152/jn.01002.2009](https://doi.org/10.1152/jn.01002.2009)
- Cressman, E. K., and Henriques, D. Y. P. (2011). Motor adaptation and proprioceptive recalibration. *Prog Brain Res* 191, 91–9. doi: [10.1016/B978-0-444-53752-2.00011-4](https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53752-2.00011-4)
- Cressman, E. K., Salomonczyk, D., and Henriques, D. Y. P. (2010). Visuomotor adaptation and proprioceptive recalibration in older adults. *Exp Brain Res* 205, 533–544. doi: [10.1007/s00221-010-2392-2](https://doi.org/10.1007/s00221-010-2392-2)
- Deconinck, F. J. A., Smorenburg, A. R. P., Benham, A., Ledebt, A., Feltham, M. G., and Savelsbergh, G. J. P. (2015). Reflections on mirror therapy: A systematic review of the effect of mirror visual feedback on the brain. *Neurorehabil Neural Repair* 29, 349–361. doi: [10.1177/1545968314546134](https://doi.org/10.1177/1545968314546134)
- Diers, M., Kamping, S., Kirsch, P., Rance, M., Bekrater-Bodmann, R., Foell, J., et al. (2015). Illusion-related brain activations: A new virtual reality mirror box system for use during functional magnetic resonance imaging. *Brain Res* 1594, 173–182. doi: [10.1016/j.brainres.2014.11.001](https://doi.org/10.1016/j.brainres.2014.11.001)
- Ding, L., Sun, Q., Jiang, N., He, J., and Jia, J. (2023). The instant effect of embodiment via mirror visual feedback on electroencephalogram-based brain connectivity changes: A pilot study. *Front Neurosci* 17. doi: [10.3389/fnsci.2023.1158451](https://doi.org/10.3389/fnsci.2023.1158451)

10.3389/fnins.2023.1138406

Dohle, C., Altschuler, E., and Ramachandran, V. S. (2019). Mirror therapy. *Multisensory Perception: From Laboratory to Clinic*, 449–461. doi: 10.1016/B978-0-12-812492-5.00020-6

Egsgaard, L. L., Petrini, L., Christoffersen, G., and Arendt-Nielsen, L. (2011). Cortical responses to the mirror box illusion: A high-resolution EEG study. *Exp Brain Res* 215, 345–357. doi: 10.1007/s00221-011-2902-x

Ernst, M. O., and Banks, M. S. (2002). Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature* 415, 429–433. doi: 10.1038/415429A

Ernst, M. O., and Bühlhoff, H. H. (2004). Merging the senses into a robust percept. *Trends Cogn Sci* 8, 162–169. doi: 10.1016/j.tics.2004.02.002

Eshkevari, E., Rieger, E., Longo, M. R., Haggard, P., and Treasure, J. (2012). Increased plasticity of the bodily self in eating disorders. *Psychol Med* 42, 819–828. doi: 10.1017/S0033291711002091

Ferri, F., Costantini, M., Salone, A., Di Iorio, G., Martinotti, G., Chiarelli, A., et al. (2014). Upcoming tactile events and body ownership in schizophrenia. *Schizophr Res* 152, 51–57. doi: 10.1016/J.SCHRES.2013.06.026

Flannigan, J. C., Posthuma, R. J., Lombardo, J. N., Murray, C., and Cressman, E. K. (2018). Adaptation to proprioceptive targets following visuomotor adaptation. *Exp Brain Res* 236, 419–432. doi: 10.1007/s00221-017-5141-y

Fuchs, T., and Schlimme, J. E. (2009). Embodiment and psychopathology: A phenomenological perspective. *Curr Opin Psychiatry* 22, 570–575. doi: 10.1097/YCO.0b013e3283318e5c

Giroux, M., Barra, J., Barraud, P. A., Graff, C., and Guerraz, M. (2019). From Embodiment of a Point-Light Display in Virtual Reality to Perception of One's Own Movements. *Neuroscience* 416, 30–40. doi: 10.1016/j.neuroscience.2019.07.043

Griffen, T. C., Naumann, E., and Hildebrandt, T. (2018). Mirror exposure therapy for body image disturbances and eating disorders: A review. *Clin Psychol Rev* 65,

163–174. doi: 10.1016/J.CPR.2018.08.006

Guerraz, M., Provost, S., Narison, R., Brugnon, A., Virolle, S., and Bresciani, J. P. (2012). Integration of visual and proprioceptive afferents in kinesthesia. *Neuroscience* 223, 258–268. doi: 10.1016/j.neuroscience.2012.07.059

Hadjiosif, A. M., Morehead, J. R., and Smith, M. A. (2023). A double dissociation between savings and long-term memory in motor learning. *PLoS Biol* 21. doi: 10.1371/JOURNAL.PBIO.3001799

Han, J., Waddington, G., Adams, R., Anson, J., and Liu, Y. (2016). Assessing proprioception: A critical review of methods. *J Sport Health Sci* 5, 80–90. doi: 10.1016/j.jshs.2014.10.004

Henriques, D. Y. P., and Cressman, E. K. (2012). Visuomotor adaptation and proprioceptive recalibration. *J Mot Behav* 44, 435–444. doi: 10.1080/00222895.2012.659232

Holmes, N. P., Crozier, G., and Spence, C. (2004). When mirrors lie: “Visual capture” of arm position impairs reaching performance. *Cogn Affect Behav Neurosci* 4, 193–200. doi: 10.3758/CABN.4.2.193

Holmes, N. P., and Spence, C. (2004). The body schema and multisensory representation(s) of peripersonal space. *Cogn Process* 5. doi: 10.1007/s10339-004-0013-3

Holmes, N. P., and Spence, C. (2005). Visual bias of unseen hand position with a mirror: spatial and temporal factors. *Exp Brain Res* 166, 489–497. doi: 10.1007/S00221-005-2389-4

Kundi, M. K., and Spence, N. J. (2023). Efficacy of mirror therapy on lower limb motor recovery, balance and gait in subacute and chronic stroke: A systematic review. *Physiother Res Int* 28. doi: 10.1002/PRI.1997

Lajoie, Y., Paillard, J., Teasdale, N., Bard, C., Fleury, M., Forget, R., et al. (1992). Mirror drawing in a deafferented patient and normal subjects: visuoproprioceptive conflict. *Neurology* 42, 1104–1106. doi: 10.1212/WNL.42.5.1104

Leach, W. T., and Medina, J. (2022). Understanding components of embodiment: Evidence from the mirror box illusion. *Conscious Cogn* 103, 103373. doi:

10.1016/J.CONCOG.2022.103373

Lee, D., and Lee, G. (2019). Effect of afferent electrical stimulation with mirror therapy on motor function, balance, and gait in chronic stroke survivors: A randomized controlled trial. *Eur J Phys Rehabil Med* 55, 442–449. doi: 10.23736/S1973-9087.19.05334-6

Lephart, S. M., Pincivero, D. M., Giraldo, J. L., and Fu, F. H. (1997). The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *American Journal of Sports Medicine* 25. doi: 10.1177/036354659702500126

Liu, Y., and Medina, J. (2017). Influence of the Body Schema on Multisensory Integration: Evidence from the Mirror Box Illusion. *Sci Rep* 7. doi: 10.1038/s41598-017-04797-0

Liu, Y., and Medina, J. (2018). Integrating multisensory information across external and motor-based frames of reference. *Cognition* 173, 75–86. doi: 10.1016/j.cognition.2018.01.005

Longo, M. R., Schüür, F., Kammers, M. P. M., Tsakiris, M., and Haggard, P. (2008). What is embodiment? A psychometric approach. *Cognition* 107, 978–998. doi: 10.1016/j.cognition.2007.12.004

Maksimovic, S., and Cressman, E. K. (2018). Long-term retention of proprioceptive recalibration. *Neuropsychologia* 114, 65–76. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.009

Maravita, A., Spence, C., and Driver, J. (2003). Multisensory integration and the body schema: Close to hand and within reach. *Current Biology* 13. doi: 10.1016/S0960-9822(03)00449-4

Medina, J., Khurana, P., and Coslett, H. B. (2015). The influence of embodiment on multisensory integration using the mirror box illusion. *Conscious Cogn* 37, 71–82. doi: 10.1016/j.concog.2015.08.011

Miall, R. C., Afanasyeva, D., Cole, J. D., and Mason, P. (2021). The role of somatosensation in automatic visuo-motor control: a comparison of congenital and acquired sensory loss. *Exp Brain Res* 239, 2043–2061. doi: 10.1007/s00221-021-06110-y

Miall, R. C., and Cole, J. (2007). Evidence for stronger visuo-motor than visuo-proprioceptive conflict during mirror drawing performed by a deafferented subject and control subjects. *Exp Brain Res* 176, 432–439. doi: 10.1007/s00221-006-0626-0

Moon, K. M., Kim, J., Seong, Y., Suh, B. C., Kang, K. J., Choe, H. K., et al. (2021). Proprioception, the regulator of motor function. *BMB Rep* 54, 393–402. doi: 10.5483/BMBRep.2021.54.8.052

Myers, J. B., Guskiewicz, K. M., Schneider, R. A., and Prentice, W. E. (1999). Proprioception and Neuromuscular Control of the Shoulder after Muscle Fatigue. *J Athl Train* 34.

Neville, K. M., and Cressman, E. K. (2018). The influence of awareness on explicit and implicit contributions to visuomotor adaptation over time. *Exp Brain Res* 236, 2047–2059. doi: 10.1007/s00221-018-5282-7

Otsuru, N., Hashizume, A., Nakamura, D., Endo, Y., Inui, K., Kakigi, R., et al. (2014). Sensory incongruence leading to hand disownership modulates somatosensory cortical processing. *Cortex* 58, 1–8. doi: 10.1016/j.cortex.2014.05.005

Peled, A., Ritsner, M., Hirschmann, S., Geva, A. B., and Modai, I. (2000). Touch feel illusion in schizophrenic patients. *Biol Psychiatry* 48, 1105–1108. doi: 10.1016/S0006-3223(00)00947-1

Qian, J., Wu, Y., Liu, F., Zhu, Y., Jin, H., Zhang, H., et al. (2022). An update on the prevalence of eating disorders in the general population: a systematic review and meta-analysis. *Eating and Weight Disorders* 27, 415–428. doi: 10.1007/s40519-021-01162-z

Ramachandran, V. S., Altschuler, E. L., and Hillyer, S. (1997). Mirror agnosia. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 264, 645–647. doi: 10.1098/rspb.1997.0091

Ramachandran, V. S., and Rogers-Ramachandran, D. (1996). Synaesthesia in phantom limbs induced with mirrors. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 263, 377–386. doi: 10.1098/rspb.1996.0058

Ramachandran, V. S., Rogers-Ramachandran, D., and Cobb, S. (1995).

Touching the phantom limb. *Nature* 377, 489–490. doi: 10.1038/377489a0

Rauchs, G., Desgranges, B., Foret, J., and Eustache, F. (2005). The relationships between memory systems and sleep stages. *J Sleep Res* 14. doi: 10.1111/j.1365-2869.2005.00450.x

Salomonczyk, D., Cressman, E. K., and Henriques, D. Y. P. (2011). Proprioceptive recalibration following prolonged training and increasing distortions in visuomotor adaptation. *Neuropsychologia* 49, 3053–3062. doi: 10.1016/j.neuropsychologia.2011.07.006

Schmalzl, L., Ragnö, C., and Ehrsson, H. H. (2013). An alternative to traditional mirror therapy: illusory touch can reduce phantom pain when illusory movement does not. *Clin J Pain* 29. doi: 10.1097/AJP.0B013E3182850573

Shadmehr, R., Brandt, J., and Corkin, S. (1998). Time-dependent motor memory processes in amnesic subjects. *J Neurophysiol* 80, 1590–1597. doi: 10.1152/JN.1998.80.3.1590

Shapiro, L. (2019). Embodied cognition. *Embodied Cognition*, 1–288. doi: 10.4324/9781315180380

Stillman, B. C. (2002). Making sense of proprioception: The meaning of proprioception, kinaesthesia and related terms. *Physiotherapy* 88, 667–676. doi: 10.1016/S0031-9406(05)60109-5

Swanik, C. B., Lephart, S. M., and Rubash, H. E. (2004). Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses. *J Bone Joint Surg Am* 86, 328–334. doi: 10.2106/00004623-200402000-00016

Swanik, K. A., Lephart, S. M., Swanik, C. B., Lephart, S. P., Stone, D. A., and Fu, F. H. (2002). The effects of shoulder plyometric training on proprioception and selected muscle performance characteristics. *J Shoulder Elbow Surg* 11, 579–586. doi: 10.1067/mse.2002.127303

Tekeoglu Tosun, A., Ipek, Y., Razak Ozdincler, A., and Saip, S. (2021). The efficiency of mirror therapy on drop foot in Multiple Sclerosis Patients. *Acta Neurol Scand* 143, 545–553. doi: 10.1111/ane.13385

Thakkar, K. N., Nichols, H. S., McIntosh, L. G., and Park, S. (2011). Disturbances in body ownership in schizophrenia: evidence from the rubber hand illusion and case study of a spontaneous out-of-body experience. *PLoS One* 6. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0027089

Thieme, H., Morkisch, N., Mehrholz, J., Pohl, M., Behrens, J., Borgetto, B., et al. (2018). Mirror therapy for improving motor function after stroke. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 2018. doi: 10.1002/14651858.CD008449.PUB3/MEDIA/CDSR/CD008449/IMAGE_N/NCD008449-CMP-006-01.PNG

Tibi, R., Eviatar, Z., and Karni, A. (2013). Fact retrieval and memory consolidation for a movement sequence: bidirectional effects of “unrelated” cognitive tasks on procedural memory. *PLoS One* 8. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0080270

Tuthill, J. C., and Azim, E. (2018). Proprioception. *Current Biology* 28, R194–R203. doi: 10.1016/j.cub.2018.01.064

Van Beers, R. J., Sittig, A. C., and Denier Van Der Gon, J. J. (1999). Integration of proprioceptive and visual position-information: An experimentally supported model. *J Neurophysiol* 81, 1355–1364. doi: 10.1152/jn.1999.81.3.1355

Varela, F. J., Thompson, E., Rosch, E., and Kabat-Zinn, J. (2016). The embodied mind: Cognitive science and human experience. *The Embodied Mind: Cognitive Science and Human Experience*, 1–322. doi: 10.29173/CMPLCT8718

Vecchiato, G., Jelic, A., Tieri, G., Maglione, A. G., De Matteis, F., and Babiloni, F. (2015). Neurophysiological correlates of embodiment and motivational factors during the perception of virtual architectural environments. *Cogn Process* 16, 425–429. doi: 10.1007/s10339-015-0725-6

Voges, C., Helmchen, C., Heide, W., and Sprenger, A. (2015). Ganzfeld stimulation or sleep enhance long term motor memory consolidation compared to normal viewing in saccadic adaptation paradigm. *PLoS One* 10. doi: 10.1371/JOURNAL.PONE.0123831

Figure Captions

Figure 1. Bar graph depicting the mean target estimation errors made by participants in the reaching task for the mirror and no-mirror conditions. The x-axis shows the initial position of the left hand in centimeters, and the y-axis shows the mean errors in cm made. Bars are means \pm SEM. * $p < 0.05$; *** $p < 0.001$.

Figure 2. Line graphs of mean target estimation errors for the 5 cm (A and B) and 26 cm (C and D) starting positions made by men and women across sessions, before (A and C) and after the star-tracing task (B and D). Symbols are means \pm SEM. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, and *** $p < 0.001$.

Figure 3. Line graphs of the mean accuracy (A) and speed (B) indices in the star-tracing task across sessions, for men and women. Symbols are means \pm SEM. ** $p < 0.01$, and *** $p < 0.001$.

Figure 4. Scatterplots plots showing the correlation between target estimation errors (5cm, A and B; 26cm, C and D) for both accuracy (A and C) and speed (B and D) star-tracing indices, for men and women. Each symbol represents a single participant. Solid and traced lines represent linear fits. Accuracy and speed indices showed a positive correlation of 0.579 ($p < 0.001$).