

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS

DEISIANE OLIVEIRA SOUTO

IMAGÉTICA MOTORA: DESENVOLVIMENTO, NEUROPSICOLOGIA E USO NA  
REABILITAÇÃO DE CRIANÇAS COM PARALISIA CEREBRAL HEMIPLÉGICA.

BELO HORIZONTE - MG  
2016

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM NEUROCIÊNCIAS

DEISIANE OLIVEIRA SOUTO

IMAGÉTICA MOTORA: DESENVOLVIMENTO, NEUROPSICOLOGIA E USO NA  
REABILITAÇÃO DE CRIANÇAS COM PARALISIA CEREBRAL HEMIPLÉGICA.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em  
Neurociências como requisito parcial à obtenção do grau de  
Mestre em Neurociências.

Área de concentração: Neurociência clínica.

Orientador: Prof. Dr. Vitor Geraldi Haase

Co-orientadora: Profa. Dra. Patrícia Lemos Buenos Fontes

BELO HORIZONTE - MG  
2016

043

Souto, Deisiane Oliveira.

Imagética motora: desenvolvimento, neuropsicologia e uso na reabilitação de crianças com paralisia cerebral hemiplégica [manuscrito] / Deisiane Oliveira Souto. – 2016.

87 f. : il. ; 29,5 cm.

Orientador: Vitor Geraldi Haase. Co-orientadora: Patrícia Lemos Buenos Fontes.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Ciências Biológicas.

1. Imagética motora. 2. Paralisia cerebral hemiplégica. 3. Membros superiores

- Teses. 4. Reabilitação - Teses. 5. Desenvolvimento – Teses. 6. Crianças - Teses. 7. Neurociências - Teses. I. Haase, Vitor Geraldi. II. Fontes, Patrícia Lemos Buenos. III. Universidade Federal de Minas Gerais. IV. Título.

CDU: 612.8

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus, por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar os caminhos nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades. Aos meus pais, irmãos e namorado pelo carinho, paciência e incentivo. Aos amigos que fizeram parte desses momentos, sempre me ajudando e incentivando.

Ao meu orientador Vitor Geraldi Haase, por toda paciência, pela confiança, por ter acreditado em mim e pelo constante aprendizado. A minha Co-orientadora Patrícia Fontes, por ter me conduzido desde a graduação até o mestrado sempre com muito carinho e profissionalismo. O encerramento de mais essa etapa de minha formação acadêmica, conquistada com enorme esforço, se deve em grande parte ao seu apoio.

A orientação de vocês foi fundamental para o meu crescimento e amadurecimento profissional.

Agradeço a todo Laboratório de Neuropsicologia do Desenvolvimento (LND) da Universidade Federal de Minas Gerais pelo aprendizado e apoio, em especial aos integrantes do grupo de Paralisia Cerebral (Thalita Cruz, Claudia Monteiro e Patrícia Fontes).

Agradeço a todos da Associação Mineira de Reabilitação – AMR e Associação dos Pais Amigos e Excepcionais – APAE que contribuíram para realização desse trabalho. Às crianças e aos pais que, apesar de toda dificuldade, aceitaram participar do estudo.

Por fim, agradeço à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas - FAPEMIG pela bolsa de estudos concedida durante o mestrado.

## RESUMO

A Imagética Motora (IM) é um processo neurocognitivo durante o qual a representação de uma ação é reproduzida internamente, sem qualquer manifestação externa do ato motor. A IM é importante em uma série de processos cognitivos e de ação, tais como; controle motor, ensaio mental, planejamento do movimento, controle antecipado e orientação no espaço. Teóricos sugerem que a IM ativa os mesmos processos envolvidos no planejamento e na execução dos movimentos. Na literatura adulta, a IM é um paradigma experimental amplamente utilizado para o estudo de aspectos cognitivos de planejamento e controle motor. Embora a IM hoje em dia seja um fenômeno cognitivo amplamente estudado em adultos, poucos estudos têm investigado seu desenvolvimento em crianças de idade pré-escolar e escolar. Investigar o desenvolvimento da IM é crucial para a nossa compreensão do desenvolvimento motor, além de permitir entender melhor o desempenho atípico da IM em populações clínicas, como por exemplo, nas crianças com paralisia cerebral hemiplégica (PCH). Na PCH, os déficits motores observados no membro superior acometido são atribuídos a mecanismos envolvidos tanto na execução como no planejamento motor. Evidências recentes têm sugerido que os déficits de planejamento motor em indivíduos com PCH podem estar associados a uma reduzida capacidade para usar a IM. A esse respeito, estudos recentes mostram resultados divergentes, não permitindo conclusões definitivas. Considerando o fato das estruturas neurais de ambos o planejamento motor e a IM serem sobrepostas, a reabilitação utilizando a IM poderia aliviar os problemas motores na PCH. Existe crescente evidência para esta abordagem na hemiplegia adulta pós-acidente vascular cerebral, contudo a IM ainda aguarda testes empíricos em crianças com PCH. Diante do exposto, a presente dissertação teve como objetivo esclarecer a lacuna existente na literatura sobre a IM na população infantil com desenvolvimento típico e com PCH. Com este propósito, o presente trabalho é composto por três estudos. No estudo I, foi examinado o desenvolvimento da IM em crianças e adolescentes saudáveis em idade pré-escolar e escolar. Para investigar com que idade as crianças são capazes de realizar a simulação mental, aplicamos a tarefa de julgamento da lateralidade das mãos (JLM) em 72 crianças neurologicamente saudáveis, divididas em 4 grupos etários: 6 a 7 anos, 8 a 9 anos, 10 a 11 anos e 12 a 13 anos. Nessa tarefa, os participantes devem julgar a lateralidade de desenhos digitais de mãos em diferentes orientações espaciais. Para verificar se os voluntários usaram a IM para resolver a tarefa, foi avaliado o tempo de reação (TR), a acurácia e o efeito biomecânico, isto é, menor tempo de reação para reconhecer os estímulos rodados medialmente. Esta última análise é crucial para definir o uso da IM durante a tarefa. Os resultados demonstraram um menor TR e melhor acurácia à medida que aumentava a faixa etária dos participantes, no entanto, todas as faixas etárias apresentaram o efeito biomecânico da tarefa, evidenciando que as crianças mais novas (6 a 7 anos) são capazes de se engajar em IM. Adicionalmente, o estudo II avaliou a capacidade de IM em crianças e adolescentes com PCH, tal como operacionalizada pela tarefa de JLM. Essa tarefa foi aplicada em 24 crianças e adolescentes com PCH divididas em dois grupos: PCH à direita – PCHD (N: 19, idade  $10 \pm 2,8$  anos) e PCH à esquerda - PCHE (N: 5, idade  $12,8 \pm 1,09$  anos). Um grupo de 68 crianças sem lesão neurológica foi incluído no estudo para compor o grupo controle - GC (idade média

10,62±1,95 anos). Os resultados demonstraram que as crianças com PCH foram menos precisas e mais lentas na tarefa do que o GC, sugerindo comprometimento na IM. Porém as diferenças não atingiram significância estatística, além disso, assim como o GC, as crianças com PCH apresentaram o efeito biomecânico da tarefa evidenciando que IM foi utilizada por todos os participantes. Por fim, o estudo III foi projetado para fornecer evidências preliminares quanto à eficácia da IM na reabilitação do membro superior na PCH. Para tanto, 24 crianças com PCH foram divididas em dois grupos: Grupo intervenção (GI) submetido a um programa de treinamento de IM, duas vezes por semana, durante 8 semanas consecutivas, com duração de 50 minutos a sessão. O GC foi submetido apenas à terapia convencional. Para verificar os efeitos da intervenção sobre o desempenho funcional do membro superior, os voluntários foram avaliados nos períodos pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up pelo Assisting Hand Assessment (AHA). Os resultados evidenciaram melhora significativa nas medidas pré e pós-intervenção do GI no AHA ( $p < 0,001$ ). Por outro lado, o GC apresentou pequena melhora no AHA, contudo, sem significância estatística ( $p > 0,05$ ). Os achados desse estudo fornecem evidências preliminares quanto à eficácia do treinamento de tarefas de IM na reabilitação do membro superior de crianças e adolescentes com PCH.

Palavras-chave: imagética motora, desenvolvimento, crianças, paralisia cerebral hemiplégica, membro superior, reabilitação.

## ABSTRACT

The Motor Imagery (MI) is a neurocognitive process during which the representation of an action is reproduced internally without any external manifestation of the motor act. The MI is important in a number of cognitive processes and action, including motor control, mental rehearsal, motion planning, feedforward control and orientation in space. Theorists suggest that active IM the same processes involved in planning and execution of movements. In adult literature, MI is an experimental paradigm widely used to study cognitive aspects of planning and motor control. Although MI today is a cognitive phenomenon widely studied in adults, few studies have investigated its development in children of preschool and school age. Investigate the development of MI is crucial to our understanding of motor development and enables better understand the IM atypical performance in clinical populations, such as in children with hemiplegic cerebral palsy (HCP). The HCP, the motor deficits observed in the affected upper limb are assigned to mechanisms involved in both running as motor planning. Recent evidence has suggested that the motor planning deficits in subjects with HCP may be associated with a reduced ability to use IM. In this regard, recent studies show convergent results, not allowing definitive conclusions about the IM capacity in individuals with HCP. Considering the fact that the neural structures of both the motor planning and IM are overlapping, rehabilitation using the MI could ease motor problems in the HCP. There is increasing evidence for this approach in the post-cerebrovascular accident adult hemiplegia, yet Im still awaits empirical tests in children with HCP. Given the above, the present work aims to clarify the existing gap in the literature on MI in children with typical development and HCP. To this end, this paper consists of three studies. In the study I was examined the development of MI in healthy children and adolescents in pre-school and school age. To investigate at what age children are able to perform MI, apply the judgment task laterality of hands (JLH) in 72 neurologically healthy children, divided into four age groups: 6-7 years old, 8-9 years old, 10-11 years and 12-13 years. In this task, participants must judge the handedness of digital drawings of hands in different spatial orientations. To verify that the volunteers have used MI to solve the task, it measured the reaction time (RT), accuracy and biomechanical effect, ie, less reaction time to recognize the stimulus rotated medially. The results showed a lower RT and better accuracy as increasing the age range of participants, however, all age groups presented the biomechanical effect of the task, showing that younger children, 6-7 years old, are able to engage in MI. Additionally, the study II evaluated the ability of MI in children and adolescents with HCP, as operationalized by JLH task. This task was applied in 24 children and adolescents with HCP divided into two groups: HCP on the right - RHCP (N: 19, age  $10 \pm 2.8$  years) and HCP on the left - LHCP (N: 5, age  $12.8 \pm 1.09$  years). A group of 68 children without neurological injury was included in the study to make up the control group - CG (average age  $10.62 \pm 1.95$  years). The results demonstrated that children with HCP were less accurate and slower than the task CG, suggesting impairment in MI. But the differences did not reach statistical significance, moreover, as the CG, children with HCP had the biomechanical effect of job showing that MI was used by all participants. Finally, the study III was designed to provide preliminary evidence on the effectiveness of MI in the rehabilitation of the upper limb on HCP. To this end, 24 children with HCP were

divided into two groups: intervention group (IG) underwent an MI training program twice a week for 8 consecutive weeks, lasting 50 minutes the session. The CG was subjected only to conventional therapy. To check the effects of the intervention on the functional performance of the upper limb, volunteers were evaluated in the pre-intervention period, post-intervention and follow-up by the Assisting Hand Assessment (AHA) and Habilhand Kids. The repeated measures ANOVA showed significant improvement in pre and post-intervention IG in both the AHA ( $p < 0.001$ ) and the Habilhand Kids ( $p = 0.003$ ). The CG showed significant improvement only between pre-intervention measures and follow-up on Habilhand Kids ( $p = 0.027$ ). The results of this study provide preliminary evidence for the effectiveness of MI task training in upper limb rehabilitation of children and adolescents with HCP.

Keywords: motor imagery, development, children, hemiplegic cerebral palsy, upper limb, rehabilitation.



## LISTA DE FIGURAS

*Estudo I: O desenvolvimento da Imagética Motora em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico.*

Figura 1: Exemplos de estímulos da tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.....	16
Figura 2: Representação gráfica da acurácia na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.....	19
Figura 3: Representação gráfica do TR na tarefa julgamento da lateralidade das mãos.....	21
Figura 4: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos apresentados em rotações mediais comparadas as rotações laterais, nas vistas dorsal e palmar.....	22
Figura 5: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos da vista dorsal e palmar, para a mão direita e esquerda.....	22

*Estudo II: Capacidade de Imagética Motora em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.*

Figura 1: Os 16 estímulos apresentados na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.....	40
Figura 2: Análise gráfica da comparação da acurácia média dos grupos na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.....	44
Figura 3: Análise gráfica da comparação do TR médio dos grupos na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.....	46
Figura 4: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos apresentados em rotações mediais e laterais, nas vistas dorsal e palmar.....	47
Figura 5: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos da vista dorsal e palmar, para os estímulos da mão direita e esquerda.....	47
Figura 6: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos da mão direita e esquerda, nas vista dorsal e palmar.....	48

*Estudo III: Avaliação preliminar da eficácia da imagética motora na melhora da função do membro superior de crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.*

Figura 1: Fluxograma de estudo.....	70
Figura 2: Aplicação do <i>Assisting Hand Assessment</i> .....	74
Figura 3: Análise gráfica das pontuações médias dos grupos nas medidas pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up no AHA e HABILHAND-Kids.....	78

## LISTA DE TABELAS

*Estudo I: O desenvolvimento da Imagética Motora em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico.*

Tabela 1: Características demográficas dos participantes.....18

Tabela 2: Modelo de regressão linear simples.....23

*Estudo II: Capacidade de Imagética Motora em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.*

*Estudo III: Avaliação preliminar da eficácia da imagética motora na melhora da função do membro superior de crianças adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.*

Tabela 1: Atividades de vida diária treinadas no protocolo de IM.....72

Tabela 2: Características dos participantes do estudo.....76

Tabela 3: Comparação da inteligência entre os grupos.....77

Tabela 4: Resultados das comparações das medidas pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up, nos grupos intervenção e controle.....77

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

PCH	Paralisia cerebral hemiplégica
IM	Imagética motora
AVC	Acidente vascular cerebral
JLM	Julgamento da lateralidade das mãos
TR	Tempo de reação
TRs	Tempos de reação
PCHD	Paralisia cerebral hemiplégica á direita
PCHE	Paralisia cerebral hemiplégica á esquerda
WISC IV	Wechsler Intelligence Scale for Children fourth Edition
AHA	Assisting Hand Assessment
GI	Grupo intervenção
GC	Grupo controle
MACS	Manual Ability Classification System
SNC	Sistema nervoso central

## SUMÁRIO

1. Introdução.....	1
1.1 Estrutura da dissertação.....	4
1.2 Referências.....	4
2. Objetivos.....	7
2.1 Objetivos Gerais.....	7
2.2 Objetivos específicos.....	7
<b>3. O desenvolvimento da Imagética Motora em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico.</b> .....	<b>8</b>
3.1 Introdução .....	11
3.2 Métodos.....	15
3.2.1 Participantes .....	15
3.2.2 Instrumento de medida .....	15
3.2.3 Procedimentos .....	16
3.2.4 Análise dos dados.....	17
3.3.1 Acurácia da tarefa de JLM .....	18
3.3.2 Desempenho geral no TR da tarefa de JLM.....	19
3.3.3 Efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM .....	21
3.4 Discussão.....	23
3.5 Conclusão.....	26
3.6 Referências.....	27
<b>4. Capacidade de Imagética Motora em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.</b> .....	<b>30</b>
4.1 Introdução .....	34
4.2 Métodos.....	38
4.2.1 Participantes .....	38
4.2.2 Instrumentos de medida .....	38
4.2.3 Procedimentos da tarefa de JLM.....	41
4.2.4 Análise estatística.....	41
4.3 Resultados .....	42
4.3.1 Acurácia na tarefa de JLM .....	43
4.3.2 Desempenho geral no TR da tarefa de JLM.....	44
4.3.3 Efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM .....	45
4.3.4 IM e Desempenho funcional .....	47
4.3.5 IM e Memória de trabalho.....	47
4.3.6 IM inteligência .....	47

4.4 Discussão.....	48
4.5 Conclusão.....	54
4.6 Implicações práticas .....	55
4.7 Referências .....	55
<b>5. Avaliação preliminar da eficácia da imagética motora na melhora da função do membro superior de crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.....</b>	<b>59</b>
5.2.1 Delineamento e participantes .....	67
5.2.2 Intervenções .....	69
5.2.3 Instrumentos de medida .....	72
5.2.4 Procedimentos .....	73
5.2.5 Análise estatística.....	74
5.5 Limitações .....	80
5.6 Conclusão.....	81
5.7 Referências .....	81
<b>ANEXO I – Parecer do Comitê de Ética.....</b>	<b>87</b>

## 1. Introdução

A imagética motora (IM) é a representação da ação envolvida no planejamento e execução dos movimentos (Jeannerod, 1994). Trata-se de um processo cognitivo ativo durante o qual a representação de uma ação específica é reproduzida internamente via memória de trabalho, sem qualquer manifestação externa do ato motor (Jackson et al., 2001). Para Jeannerod e Decety (1995), a simulação mental dos movimentos é um estado cognitivo que pode ser experimentado por qualquer pessoa, correspondendo às várias situações da vida diária, como observar a ação de alguém e imitá-la em seguida, antecipar as consequências de uma ação, preparar ou ter a intenção de mover-se ou relembrar uma ação. Jeannerod (1994) ressalta que a IM ativa os mesmos processos envolvidos no planejamento e na execução dos movimentos. Tem sido teorizado ainda que a IM faz parte de um fenômeno mais amplo, a representação motora, relacionada com a intenção e a preparação dos movimentos. Postula-se que ao realizar tarefas de IM a representação interna do movimento é aberta a consciência enquanto a execução ostensiva do plano de movimento é inibida (Steenbergen et al., 2009).

Numerosos estudos utilizando técnicas comportamentais e de neuroimagem confirmam a existência de fortes semelhanças entre os movimentos executados e imaginados. Por exemplo, o tempo para imaginação de um movimento e para sua efetiva execução é temporalmente congruente (Malouin, Richards & Durand, 2012), as respostas autonômicas associadas ao esforço físico variam da mesma maneira durante a simulação mental e a execução motora (Oishi, Kasai & Maeshima, 2000). Além disso, regiões cerebrais correspondentes são ativadas quando o indivíduo imagina ou executa um determinado movimento, sugerindo uma considerável sobreposição nos circuitos cerebrais envolvidos na imaginação e na execução das ações (Grezes & Decety, 2001). Por fim, ações geradas usando a IM aderem às mesmas regras da movimentação e restrições que os movimentos físicos seguem.

Ao considerarmos as relações existentes entre a IM e os movimentos fisicamente executados, esperamos que as alterações centrais produzidas durante a IM possam afetar o desempenho motor subsequente. A influência do treinamento por IM sobre o aprendizado e desempenho motor foi recentemente avaliada e confirmada por vários experimentos (Jackson et al., 2001; Page et al., 2009; Liu et al., 2004). Foi mostrado que o treinamento mental não afeta somente o desempenho motor global, mas também a força muscular, aumento da consistência temporal, melhora do aprendizado, melhora na velocidade e precisão dos movimentos (Guillot et al., 2012; Allami et al., 2008; Cocks et al., 2014). Acreditamos que a melhora decorrente da simulação mental pode estar ligada a um efeito puramente central, o

qual pode ser explicado pelo aumento na ativação de redes neurais críticas para a execução dos movimentos. Jeannerod (2001) sugere que existem redes neurais já estabelecidas para determinados atos motores, e que, ao realizar tarefas de IM essas redes neurais envolvidas no gesto motor executado são reforçadas. Dessa forma, a melhora do desempenho motor ocorre pelo reforço da coordenação de padrões motores responsáveis pela habilidade motora treinada (Jeannerod, 2001). Weiss et al. (1994) propuseram que os ganhos resultantes do treinamento de tarefas de IM se devem à estimulação de regiões do cérebro normalmente envolvidas no planejamento e controle dos movimentos. Esse pressuposto é reforçado por inúmeros estudos de neuroimagem funcional mostrando atividade em áreas motoras durante a execução de tarefas de IM (Grezes & Decety, 2001).

Atualmente, a IM vem sendo associada ao contexto clínico, na reabilitação de pacientes com sequelas neurológicas, principalmente pós-Acidente Vascular Cerebral - AVC (Jackson et al., 2003). Estudos experimentais revelam uma tendência a efeito positivo do treinamento de tarefas de IM sobre a aprendizagem motora (Jackson et al., 2001), redução dos déficits sensório-motores (Liu et al., 2004), melhora da função do membro superior (Page, Levine & Leonard, 2007), reorganização cortical (Page et al., 2009) e melhor desempenho na execução de atividades de vida diária (Crosbie et al., 2004) de indivíduos após AVC. Esses resultados são suportados por recente meta-análise conduzida por Kho, Liu e Chung (2014) para verificar os efeitos da IM sobre a recuperação do membro superior hemiplégico. Em sua maioria, os artigos revisados apontaram efeitos benéficos, sugerindo que a IM é eficaz na recuperação dos déficits motores desses indivíduos.

A partir das avaliações existentes, é plausível sugerir que o treinamento de tarefas de IM pode ser um complemento eficaz para à prática física na reabilitação do membro superior de hemiplégicos pós-AVC. No entanto, essa intervenção terapêutica ainda não tem sido empregada na hemiplegia infantil decorrente da paralisia cerebral hemiplégica (PCH). Nessas crianças, não só a execução dos movimentos com a extremidade superior afetada é prejudicada, mas a capacidade de planejamento motor está comprometida de uma forma que afeta o desempenho da ação com as duas mãos (Steenbergen et al., 2009). Atualmente, os programas de reabilitação destinados a essa população são predominantemente focados nos déficits na execução motora, enquanto as desordens no planejamento motor não são tratadas. Evidências recentes sugerem que os problemas com o planejamento motor também podem afetar negativamente o desempenho das atividades de vida diária e, portanto, precisam ser tratados (Steenbergen et al., 2013). A IM é uma técnica cognitiva que pode ser usada para

aliviar os déficits de planejamento motor em crianças com PCH. A utilização desta ferramenta não tem sido explorada nessa população, mas é um método teoricamente possível para ativar as redes motoras envolvidas no planejamento motor. Apesar de ter sua eficácia já comprovada na reabilitação de pacientes que sofreram AVC (Jackson et al., 2001), e ser teoricamente um método por excelência para treinar o planejamento motor (Wilson et al, 2002), a IM ainda aguarda estudos empíricos em crianças com PCH.

Para Steenbergen et al. (2013), algumas medidas devem ser tomadas previamente ao uso da IM na reabilitação de crianças e adolescentes acometidos pela PCH. A primeira questão diz respeito à idade em que as crianças são capazes de usar a IM. O conhecimento sobre o desenvolvimento da IM relacionada à idade das crianças é fundamental para implementar o seu treino na reabilitação pediátrica. Alguns estudos foram realizados em crianças com desenvolvimento típico (entre 5 a 12 anos) para avaliar a sua capacidade de usar a IM (Spruijt, Van der Kamp & Steenbergen, 2015; Hoyek et al., 2009; Molina, Tijus & Jouen, 2008). Devido a diferenças de metodologia e interpretação dos resultados, conclusões definitivas sobre a idade em que as crianças são capazes de usar a IM não estão claras. Investigar o desenvolvimento da IM é essencial para a nossa compreensão do desenvolvimento do sistema motor. Além disso, para aplicar efetivamente o treino de IM na PCH, é pertinente, primeiramente, estabelecer a idade em que as crianças são realmente capazes de executar tal habilidade.

Uma segunda questão que merece maiores investigações está relacionada ao fato das crianças com PCH serem capazes de realizar tarefas de IM. A capacidade de planejamento motor está comprometida na PCH (Steenbergen et al., 2013), como a IM e o planejamento motor compartilham dos mesmos substratos neurais, evidências indicam que a deficiência no planejamento motor observada nessa população pode estar relacionada a uma reduzida capacidade para utilizar a IM. A esse respeito, algumas pesquisas já foram realizadas, porém, os resultados foram divergentes, e assim, os estudos desenvolvidos até o momento não permitem uma conclusão definitiva sobre a capacidade de realizar tarefa de IM em crianças com PCH.

Dessa forma, a partir da identificação desta lacuna na literatura, foi realizada uma pesquisa capaz de investigar o desenvolvimento da IM em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico, bem como esclarecer se crianças com PCH são capazes de realizar tarefas de IM. Acreditamos que os dados levantados possam contribuir para aumentar nosso conhecimento sobre a IM nessa população. Além disso, o presente estudo investigará os



possíveis benefícios da IM sobre o desempenho funcional do membro superior de crianças e adolescentes com PCH, fornecendo dados preliminares quanto à sua efetividade na reabilitação pediátrica.

### 1.1 Estrutura da dissertação

Seguindo as recomendações do Programa de Pós-graduação em Neurociências da UFMG, esta dissertação será apresentada em formato de artigos científicos:

- O Primeiro artigo a ser apresentado é intitulado “O desenvolvimento da Imagética Motora em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico”. Trata-se de um estudo desenhado para explorar o desenvolvimento da IM em crianças em idade escolar e pré-escolar, a fim de determinar com que idade elas são capazes de se envolver em tarefas que exigem o uso de IM. Tal estudo foi necessário tendo em vista uma grande divergência entre os resultados de pesquisas que examinaram a capacidade de realizar tarefa de IM em populações infantis.

- O segundo artigo, “Capacidade de Imagética Motora em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica” é um estudo transversal que teve por objetivo principal verificar se crianças e adolescentes com PCH apresentam capacidade para realizar tarefa de IM, além disso, nesse estudo verificamos ainda se a capacidade de realizar tal habilidade está relacionada com a lateralidade da hemiplegia, bem como a existências de associações entre a IM e as variáveis desempenho funcional, memória de trabalho e Inteligência.

- O terceiro artigo é um estudo piloto desenhado para investigar os efeitos do treinamento de tarefas de IM na melhora do desempenho funcional do membro superior de crianças com PCH. Esse último artigo da dissertação recebeu o título de “Avaliação preliminar da eficácia da imagética motora na melhora da função do membro superior de crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica”.

### 1.2 Referências

Allami, N., Paulignan, Y., Brovelli, A., & Boussaoud, D. (2008). Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. *Experimental Brain Research*, 184(1), 105-113.

- Cocks, M., Moulton, C. A., Luu, S., & Cil, T. (2014). What surgeons can learn from athletes: mental practice in sports and surgery. *Journal of surgical education*, 71(2), 262-269.
- Crosbie, J. H., McDonough, S. M., Gilmore, D. H., & Wiggam, M. I. (2004). The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation*, 18(1), 60-68.
- Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human brain mapping*, 12(1), 1-19.
- Guillot, A., & Collet, C. (2008). Construction of the motor imagery integrative model in sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 31-44.
- Hoyek, N., Champely, S., Collet, C., Fargier, P., & Guillot, A. (2009). Age and gender-related differences in the temporal congruence development between motor imagery and motor performance. *Learning and Individual Differences*, 19(4), 555-560.
- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(8), 1133-1141.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current opinion in neurobiology*, 5(6), 727-732.
- Jeannerod, M. (1994). Motor representations and reality. *Behavioral and Brain sciences*, 17(02), 229-245.
- Kho, A. Y., Liu, K. P., & Chung, R. C. (2014). Meta-analysis on the effect of mental imagery on motor recovery of the hemiplegic upper extremity function. *Australian occupational therapy journal*, 61(2), 38-48.
- Liu, K. P., Chan, C. C., Lee, T. M., & Hui-Chan, C. W. (2004). Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(9), 1403-1408.
- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2012). Slowing of motor imagery after a right hemispheric stroke. *Stroke research and treatment*, 2012.

- Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental child psychology*, 99(3), 196-209.
- Oishi, K., Kasai, T., & Maeshima, T. (2000). Autonomic response specificity during motor imagery. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 19(6), 255-261.
- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S., & Johnston, M. V. (2001). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical rehabilitation*, 15(3), 233-240.
- Spruijt, S., Van\_der\_kamp, J., & Steenbergen, B. (2015). Current insights in the development of children's motor imagery ability. *Frontiers in Psychology*, 6, 787.
- Steenbergen, B., Jongbloed-Pereboom, M., Spruijt, S., & Gordon, A. M. (2013). Impaired motor planning and motor imagery in children with unilateral spastic cerebral palsy: challenges for the future of pediatric rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 55(s4), 43-46.
- Steenbergen, B., Craje, C., Nilsen, D. M., & Gordon, A. M. (2009). Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51(9), 690-696.
- Weiss, T., Hansen, E., Rost, R., Beyer, L., Merten, F., Nichelmann, C., & Zippel, C. (1994). Mental practice of motor skills used in poststroke rehabilitation has own effects on central nervous activation. *International Journal of Neuroscience*, 78(3-4), 157-166.
- Wilson, P. H., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491-498.

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivos Gerais

(a) Analisar o desenvolvimento da IM em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico, com idade entre 6 a 13 anos;

(2) Avaliar as habilidades de IM em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica com idade entre 6 a 14 anos;

(3) Avaliar a adequação e fazer uma análise preliminar da eficácia de intervenções baseadas em IM na reabilitação das funções do membro superior em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.

### 2.2 Objetivos específicos

(a) Verificar se as crianças com idade entre 6 a 7 anos são capazes de se envolver em tarefa que exige o uso de IM;

(b) Investigar o desenvolvimento da habilidade de IM em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico, verificando possíveis diferenças relacionadas à idade;

(c) Avaliar a habilidade de IM em crianças e adolescentes com PCH comparativamente a controles com desenvolvimento típico;

(d) Verificar se a lateralidade da hemiplegia pode influenciar a capacidade para realizar tarefa de IM em crianças e adolescentes com PCH;

(e) Investigar possível associação entre a capacidade de IM e as variáveis, desempenho funcional, memória de trabalho e inteligência de crianças e adolescentes com PCH;

(f) Verificar se um programa de intervenção com IM é exequível para melhorar o desempenho funcional do membro superior de crianças e adolescentes com PCH e obter evidências iniciais quanto à sua eventual eficácia;

(g) Verificar se um programa de reabilitação convencional quando associado ao treino de IM resultará em maiores ganhos no desempenho funcional do membro superior quando comparado à reabilitação convencional isolada em crianças e adolescentes com PCH.

### **3. O desenvolvimento da Imagética Motora em crianças e adolescentes com desenvolvimento típico.**

Deisiane Oliveira Souto<sup>1</sup>, Thalita Karla Flores Cruz<sup>1</sup>, Annelise Julio-Costa<sup>2</sup>, Patrícia Lemos Buenos Fontes<sup>3</sup>, Vitor Geraldi Haase<sup>4</sup>.

<sup>1</sup>. Mestranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup> Professora Doutora, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>4</sup> Professor Doutor Orientador do Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

## RESUMO

A capacidade de representar mentalmente uma ação é crucial para o desenvolvimento do controle do motor. Imagética motora fornece uma janela para a compreensão ação tornando-se uma fonte adicional e alternativa de treinamento que pode ser utilizada para promover a melhora do desempenho motor. Atualmente, não está claro como essa habilidade se desenvolve ao decorrer da infância e início da adolescência. No presente estudo foi utilizada a tarefa de julgamento da lateralidade das mãos para mensurar a capacidade de imagética motora em 72 voluntários com idade entre 6 a 13 anos. Nesta tarefa os participantes julgam a lateralidade de figuras das mãos orientadas em diferentes orientações espaciais. Os participantes foram divididos em 4 grupos etários (6 a 7 anos, 8 a 9 anos, 10 a 11 anos e 12 a 13 anos). Para verificar se de fato os participantes se envolveram em imagética motora, foi avaliado o tempo de reação, acurácia e o chamado efeito biomecânico, isto é, menor tempo de reação para julgar figuras das mãos orientadas em posições mais fáceis de serem executadas fisicamente. Os resultados demonstraram, em geral, um menor tempo de reação e melhor acurácia à medida que aumentava a faixa etária dos participantes. Além disso, todas as faixas etárias apresentaram o efeito biomecânico da tarefa, evidenciando que as crianças mais novas são capazes de se engajar em imagética motora. Diante desses achados, sugerimos que imagética motora sofre um refinamento contínuo e progressivo ao longo da infância e início da adolescência, tornando-se progressivamente mais forte com o avançar da idade. Atribuímos à maturação na capacidade de imagética motora ao desenvolvimento das redes neurais ligadas à simulação interna dos movimentos. Este estudo amplia a compreensão de como a imagética motora se desenvolve com a idade, fornecendo apoio positivo a experimentos que utilizem essa técnica na reabilitação de crianças com deficiência neuro-motora.

Palavras chave: Imagética motora, desenvolvimento, crianças, julgamento da lateralidade das mãos.

## ABSTRACT

The ability to represent a mental action is crucial for the development of motor control. Motor imagery provides a window for understanding action becoming an additional source and training alternative that can be used to provide improved engine performance. Currently it is unclear how this ability has developed through childhood and early adolescence. In this study, the task judgment of the laterality of hands was used to measure the motor imagery capacity of 72 volunteers aged 6 to 13 years. In this task the participants judge the handedness of figures hand oriented in different spatial orientations. The volunteers were divided into four age groups (6-7 years old, 8-9 years old, 10- 11 years and 12-13 years). To see if in fact the participants were involved in motor imagery was evaluated the reaction time, accuracy and called biomechanical effect, ie, shorter time to judge figures hand oriented easiest positions to be executed physically. The results showed, in general, a lower reaction time and better accuracy as increasing the age range of participants. Moreover, all age groups have the biomechanical effect of the task, showing that younger children are able to engage in motor imagery. Given these findings, it is suggested that motor imagery undergoes a continuous and progressive refinement through childhood and early adolescence, becoming progressively stronger with advancing age. We attribute the maturation of motor imagery ability in the development of neural networks connected to internal simulation of movements. This study expands the understanding of how motor imagery develops with age, providing positive support to experiments using this technique in the rehabilitation of children with neuromotor disabilities.

**Keywords:** Motor imagery, development, children, judgment of the laterality of hands.

### 3.1 Introdução

Ao longo dos últimos anos, estudos neurocientíficos realizados em humanos e macacos contribuíram significativamente para o campo de pesquisa abrangendo a Imagética Motora - IM (Jeannerod, 1994). A IM refere-se a um processo cognitivo ativo durante o qual a representação de uma ação específica é reproduzida internamente via memória de trabalho, sem qualquer manifestação externa do ato motor (Jackson et al., 2001). Tem sido postulado que a IM desempenha papel crítico em uma série de processos cognitivos e de ação, incluindo mudanças de perspectiva, resolução de problemas, ensaio mental, planejamento do movimento, controle motor antecipatório, aprendizagem motora e orientação no espaço, principalmente quando não há informação visual disponível (Wilson et al., 2005; Wolbers, Weiller & Büchel, 2003).

Quando indivíduos são solicitados a realizar tarefas de IM, eles podem utilizar duas diferentes estratégias: cinestésica ou visual. A IM do tipo cinestésica ocorre na perspectiva de primeira pessoa, sendo que o indivíduo se identifica intensa e profundamente com os processos internos que ocorrem durante o movimento imaginado (Ruby & Decety, 2001; McAvinue & Robertson, 2008). Nesse tipo de IM, o indivíduo vivencia a ação como se estivesse de fato executando-a. Por outro lado, na modalidade visual, a tarefa de IM pode ser realizada com a perspectiva de primeira ou terceira pessoa, é como se o indivíduo visualizasse o movimento sendo realizado por outra pessoa ou por segmentos do seu próprio corpo (Ruby & Decety, 2001; McAvinue & Robertson, 2008). Esse tipo de imagem exige a representação visuoespacial da ação ou representação visual do membro em movimento.

De acordo com Steenbergen et al. (2009), ao realizar tarefas de IM a representação interna do movimento está disponível à consciência, enquanto a execução evidente do plano de movimento é inibida. Jeannerod (1994) ressalta ainda que a IM ativa os mesmos processos envolvidos na programação e preparação de ações motoras, a diferença é que, durante a IM, a execução da ação é bloqueada em algum nível do trato córtico-espinhal. Assim, a IM e a execução motora são processos intimamente relacionados, o que faz da primeira um paradigma experimental que permite acessar o processo não consciente da representação de atos motores (Gabbard, 2009). Para Wolpert (1997), a simulação mental do movimento é importante pelo fato de acompanhar as intenções e planos de atos motores, avaliando se as ações realizadas correspondem às ações desejadas.



Na literatura adulta, a IM é um paradigma experimental amplamente utilizado para o estudo de aspectos cognitivos de planejamento e controle motor. Pesquisadores postulam que a IM fornece uma janela para o processo de representação da ação, tornando-se fundamental no planejamento de medidas eficazes (Jeannerod, 2001; Wolpert & Flanagan, 2001). Evidentemente, a habilidade de representar mentalmente uma ação é essencial para o desenvolvimento do sistema de controle motor. O desenvolvimento das habilidades motoras é suportado por um conjunto de processos cognitivos que se desenvolvem com a maturação e sofrem ajustes conforme as experiências adquiridas ao longo do tempo. Atualmente, existem poucas informações disponíveis sobre o desenvolvimento da IM em crianças jovens. Para Piaget & Inhelder (1966), a IM foi primitivamente derivada de uma interiorização das atividades sensório-motoras que ocorrem no final do segundo ano de vida. Tal processo é responsável por dar origem à vida mental, a qual está prevista para terminar por volta dos sexto ano de vida. Em experimento sobre o sistema de controle motor, Keen (2011) sugere que no primeiro ano de vida os bebês já usam imagens mentais de objetos para alcançá-los no escuro. Na infância, o desempenho em atividades que exigem raciocínio espacial é reforçado quando as crianças são instruídas a usar imagens mentais (Keen, 2011). Mischel et al. (1989) sugeriram que já em uma idade muito jovem, as crianças usam a IM para ajudar o desempenho em tarefas difíceis ou ainda não familiares.

Pesquisas investigando o desenvolvimento da IM em populações infantis tem recebido pouca atenção desde o início dos trabalhos por Piaget e Inhelder (1971). As habilidades de IM em crianças pequenas foram inicialmente estudadas através do paradigma de rotação mental, originalmente proposto por Shepard e Metzler (1971) para estudos com população adulta. Nesta tarefa, pares de objetos geométricos idênticos ou espelhados foram mostrados (em diferentes orientações espaciais) aos participantes que deveriam decidir o mais rapidamente possível se os dois objetos eram os mesmos. Esses autores demonstraram que os tempos de resposta aumentaram linearmente em função do ângulo de rotação do objeto, sugerindo que os participantes tinham rodado mentalmente um dos objetos para resolver a tarefa. Estes resultados encontrados por Shepard e Metzler (1971) já foram replicados em estudos com crianças (Levine et al, 1999; Marmor, 1977), nos quais as figuras geométricas do paradigma Shepard e Metzler foram substituídas por diferentes objetos bidimensionais. Parsons (1994), após utilizar figuras de mãos para substituir os objetos geométricos, nomeou a tarefa de rotação mental como tarefa de julgamento da lateralidade das mãos (JLM). Na tarefa de Parsons, os indivíduos deveriam decidir se a figura da mão apresentada em diferentes ângulos

de rotação era a mão direita ou esquerda. Kosslyn et al, (1998) conduziram experimento em que essa tarefa foi aplicada simultaneamente ao uso de técnicas de neuroimagem e mostraram ativação do córtex motor primário e da área pré-motora, sugerindo que essa tarefa é de fato capaz de evocar o uso de IM.

Atualmente, o paradigma de JLM de Parsons vem sendo amplamente utilizado para avaliação da IM na população adulta (Lequerica et al, 2002). Funk, Brugeer e Wilkening (2005) utilizaram uma versão similar da tarefa de JLM para avaliar a habilidade de IM em crianças com idade entre 5 a 7 anos. Os autores concluíram que ambas as faixas etárias foram capazes de realizar com sucesso a tarefa de IM empregada. Estes resultados foram criticados por Spruijt, Van der Kamp e Steenbergen (2015) que, após verificar a habilidade de IM em crianças de 6 a 8 anos, concluíram que as crianças de 6 anos não foram capazes de realizar tarefas de IM. Aplicando essa mesma tarefa, Molina, Tijus e Jouen (2008) avaliaram a capacidade de IM em 80 crianças de 5 a 7 anos. Os resultados obtidos nesse experimento não revelaram capacidade de IM em crianças de 5 anos, mas, por outro lado, forneceram evidências para um processo de IM emergente em crianças de 7 anos. Para Bideaud e Courbois (2000), em crianças com idade inferior a 6 anos, a capacidade de realizar tarefa de IM está diretamente relacionada com suas habilidades motoras, uma vez que a criança só é capaz de realizar movimentos imaginados de atividades já realizadas com exatidão fisicamente.

No que se refere ao desenvolvimento da IM em crianças mais velhas, Hoyek et al (2009) avaliaram a capacidade de realizar movimentos imaginados em 30 crianças de 7 a 8 anos e em 61 crianças de 11 a 12 anos. Os resultados mostraram que ambos os grupos foram capazes de realizar a tarefa de IM. Contudo, o grupo de 11 a 12 anos apresentou desempenho superior quando comparado ao grupo de crianças com 7 a 8 anos, sugerindo que a IM passa por um refinamento progressivo ao longo da infância. Em apoio a essa hipótese, pesquisadores têm sugerido que a habilidade de IM se desenvolve gradualmente entre 5 a 12 anos (Spruijt, Van der Kamp & Steenbergen, 2015; Hoyek et al, 2009; Molina, Tijus & Jouen, 2008; Smits-Engelsman & Wilson, 2013). Essa maturação na capacidade para realizar os movimentos imaginados pode ser interpretada em termos de um desenvolvimento geral dos processos cognitivos envolvidos na representação motora. Esse desenvolvimento é determinado principalmente por mudanças internas nas estruturas do córtex pré-frontal e parietal (Sirigu & Duhamel, 2001). Isto está de acordo com vários estudos que mostraram que o córtex parietal está envolvido na formulação de modelos internos associados à IM e a

representação interna da ação (Sirigu & Duhamel, 2001). Vargas et al., (2004) ressaltam ainda que a evolução da IM em crianças também está relacionada à maturação da área motora suplementar, área pré-motora, córtex motor primário, gânglios da base e cerebelo.

Abrangendo uma faixa etária maior, Caeyenberghs et al (2009) avaliaram a IM em crianças de 7 a 12 anos de idade, utilizando a tarefa de JLM. Os resultados mostraram que, em geral, todas as crianças foram capazes de realizar a tarefa de IM, no entanto, os autores não examinaram os efeitos biomecânicos da tarefa em seus dados. O efeito biomecânico consiste em um aumento no tempo de resposta dos participantes em função do ângulo de rotação das figuras das mãos. Para Parsons (1994), ao realizar a tarefa de JLM, os indivíduos são consistentemente mais rápidos para julgar as figuras nas quais o movimento é mais facilmente executado fisicamente. Assim, os mesmos fatores biomecânicos e ambientais que restringem os movimentos reais também determinam a simulação mental do mesmo movimento (Decety et al, 1989; Maruff et al, 1999). Em consonância com essa premissa, o uso da IM durante a tarefa de JLM é caracterizado por um maior tempo de reação para julgar os estímulos orientados em posições mais difíceis de serem executadas fisicamente. Como se observa, a análise dos efeitos biomecânicos fornece evidências claras quanto ao fato da IM ter sido utilizada para completar a tarefa de JLM. A não avaliação dos efeitos biomecânicos no estudo de Caeyenberghs et al (2009) impossibilitou esclarecer se a IM sofre variação conforme aumento da idade.

A partir dessa breve análise, verifica-se que os estudos desenvolvidos não fornecem um quadro completo do desenvolvimento da IM em crianças e adolescentes mais jovens. Compreender o desenvolvimento dessas representações internas do movimento é essencial para ampliar nosso conhecimento sobre o desenvolvimento do sistema de controle motor, bem como, entender o desempenho atípico da IM em crianças com deficiência neuro-motora. Além disso, o conhecimento do desenvolvimento da habilidade de IM em crianças fornecerá apoio positivo a experimentos que utilizem a IM como uma ferramenta na reabilitação de crianças com deficiência neuro-motora. Diante do exposto, o presente estudo objetivou verificar se crianças com idade entre 6 e 7 anos são capazes de realizar tarefas de IM e, além disso, explorar possíveis diferenças relacionadas à idade na IM em crianças e adolescentes saudáveis com idade entre 6 a 13 anos.

Acreditamos que as alterações na IM relacionadas à idade refletem um refinamento nos mecanismos envolvidos na representação da ação. Dessa forma, haverá mudanças na capacidade de realizar tarefas de IM, as quais serão caracterizadas por melhoria gradual do

desempenho na tarefa à medida que aumenta a idade dos participantes. Assim, crianças mais novas (6 a 7 anos) serão capazes de se engajar na tarefa de IM, conforme Funk, Brugeer e Wilkening (2005), porém o desempenho continuará a melhorar durante toda a infância e início da adolescência.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Participantes

Participaram do estudo 72 crianças (35 meninos e 37 meninas), recrutadas em uma escola pública no sudeste do Brasil (em Betim, Minas Gerais). A idade da amostra variou de 6 anos e 5 meses a 13 anos e 2 meses [idade média = 9,77 ( $\pm 2,21$ ) anos]. Os participantes foram agrupados em 4 faixas etárias: 6 a 7 anos [n=15, idade média = 6,6 ( $\pm 0,05$ ) anos], de 8 a 9 anos [n=17, idade média = 8,5 ( $\pm 0,5$ ) anos], de 10 a 11 anos [n=21, idade média = 10,5 ( $\pm 0,05$ ) anos] e de 12 a 13 anos [n=19, idade média = 12,5 ( $\pm 0,5$ ) anos]. Todos os participantes eram destros, não apresentavam comprometimento neuro-motor, tinham visão normal ou corrigida e capacidade para discriminar direita e esquerda. O consentimento por escrito foi obtido a partir das escolas e dos pais das crianças previamente ao experimento. Todos os procedimentos da pesquisa foram aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG).

### 3.2.2 Instrumento de medida

A capacidade de realizar a habilidade de IM foi mensurada através da tarefa de julgamento da lateralidade das mãos (JLM) proposto por Parsons em 1994 (Figura 1). Trata-se de uma tarefa computadorizada, na qual são apresentadas, no centro da tela de um computador, figuras das mãos (direita e esquerda) em diferentes vistas (dorsal e palmar) e ângulos de rotação (0°, 90°, 180° e 270°). Os indivíduos deveriam dizer se a figura apresentada correspondia à mão direita ou esquerda. A tarefa é composta por 16 estímulos diferentes, repetidos cinco vezes cada, totalizando 80 estímulos. O paradigma de JLM avalia a IM por exigir que o indivíduo imagine sua própria mão se movendo para a orientação apresentada no estímulo para assim fazer o julgamento. Para Parsons (1994), o uso da IM durante a tarefa de JLM é caracterizado não apenas pelas diferenças observadas no tempo de reação (TR) e acurácia geral da tarefa, mas também pela presença do efeito das restrições

biomecânicas. O efeito das restrições biomecânicas é caracterizado por um aumento linear no TR em função da orientação espacial dos estímulos (Caeyenberghs et al, 2009; Conson, Mazzarella & Trojano, 2013). Mais precisamente, os participantes são consistentemente mais rápidos em julgar a lateralidade das mãos quando os estímulos estão orientados em posições mediais. Assim, julgar a lateralidade quando o estímulo apresentado é a mão esquerda rodada a  $90^\circ$  é mais rápido do que a mão direita nessa mesma orientação. Da mesma forma, os participantes teriam uma vantagem ao julgar a lateralidade quando a figura da mão direita está orientada a  $270^\circ$  quando comparado à mesma orientação da mão esquerda (De Lange, Helmich & Toni, 2006; Parsons, 1994).

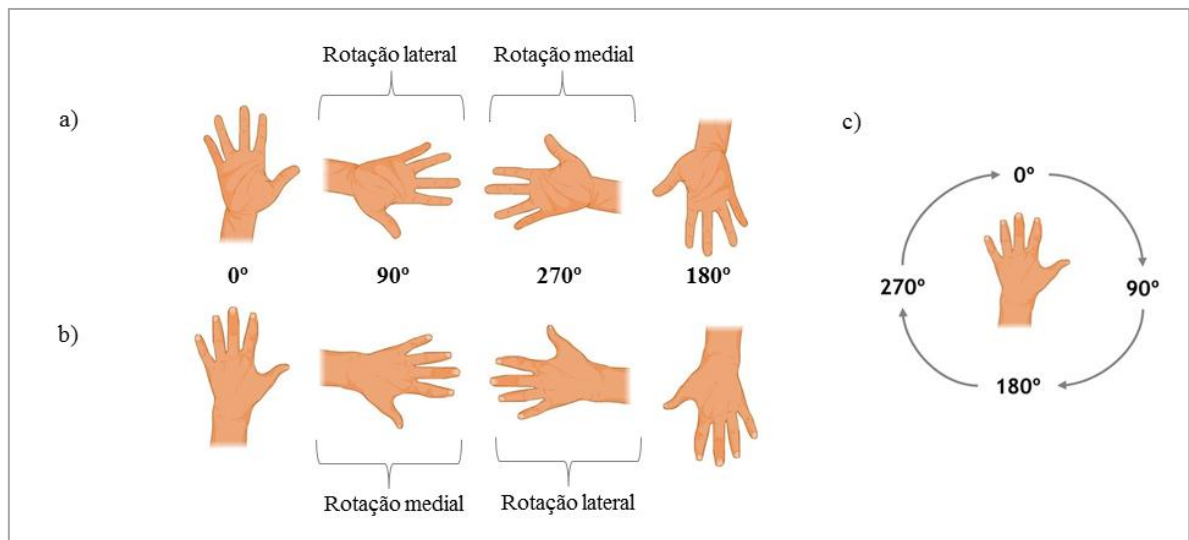


Figura 1: Exemplos de estímulos da tarefa de julgamento da lateralidade das mãos. Em (a) observa-se os estímulos da mão direita na vista palmar. Em (b) encontra-se os estímulos da mão esquerda na vista dorsal, enquanto (c) apresenta o sentido de rotação dos estímulos da tarefa.

### 3.2.3 Procedimentos

Durante a aplicação da tarefa de JLM, os voluntários permaneciam sentados em frente ao computador, no qual os estímulos das mãos foram apresentados pseudo-aleatoriamente e individualmente usando o *software* conhecido como *Presentation* (versão 0.71). Todos os voluntários foram instruídos a imaginar sua própria mão girando até combinar com o estímulo apresentado e, em seguida, decidir o mais rapidamente possível se o estímulo correspondia à mão direita ou esquerda. Após julgar a lateralidade da figura da mão, o voluntário deveria efetuar sua resposta pressionando a tecla direita ou esquerda do Notebook

com o dedo indicador da mão direita e esquerda respectivamente. O registro das respostas corretas (acurácia), bem como do tempo de reação (TR), foram produzidos pelo referido *software* e utilizado posteriormente para análise dos dados.

#### 3.2.4 Análise dos dados

Os dados foram analisados usando o software Statistical Package for the Social Science (SPSS), versão 20.0, adotando como significativo um alfa menor do que 5% (valor de  $p < 0,05$ ). Os ensaios em que os participantes erraram ou produziram TR maior que três desvios-padrão acima ou abaixo da média geral foram excluídos das análises. Para cada participante, foi calculada a média do TR e precisão em cada ângulo, bem como em rotações mediais e laterais e nas vistas palmar e dorsal. Os dados foram expressos como média e erro-padrão. Foi calculada a média do TR geral obtida pelos participantes na tarefa, bem como a acurácia média e, posteriormente, realizada a correlação de Pearson entre TRs e precisão da tarefa de JLM. Essa análise preliminar foi realizada para avaliar se os participantes apresentariam a presença do efeito Trade-off entre velocidade e precisão (Speed-accuracy trade-off). Para a comparação das médias de acertos e das médias dos tempos de reação (TRs) entre os grupos, foi realizada a análise de variância pelo método do modelo linear geral (ANOVA). Para as variáveis nas quais a análise de variância constatou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos etários, utilizou-se à análise post hoc de Bonferroni para comparações múltiplas. A ANOVA de medidas repetidas foi usada para examinar os efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM com relação ao TR individualmente (direção: medial e lateral, vista: dorsal e palmar). Resultados significativos foram analisados com análise post hoc de Bonferroni para comparações múltiplas. Finalmente, para determinar se a idade poderia prever a eficiência na tarefa de IM, uma análise de regressão simples foi realizada.

### 3.3 Resultados

As informações referentes às características demográficas dos participantes são apresentadas na Tabela 1. A amostra apresentou-se homogênea em relação ao sexo ( $\chi^2 = 0,533$ ;  $p = 0,170$ ) para os quatro grupos. A análise preliminar demonstrou que o TR não correlacionou

com a precisão ( $r = - 174$ ,  $p = 0,145$ ). Esses resultados tornam improvável a presença do efeito Speed-accuracy trade-off na tarefa de JLM.

Tabela 1: Características demográficas dos participantes.

	Sexo		Idade	
	Masculino	Feminino	M	dp
Grupo 6-7 anos (N=15)	6	9	6,6 anos	0,05 anos
Grupo 8-9 anos (N=17)	11	6	8,5 anos	0,51 anos
Grupo 10-11 anos (N=21)	12	9	10,5 anos	0,50 anos
Grupo 12-13 anos (N=19)	7	12	12,5 anos	0,50 anos

A seguir, os resultados serão estruturados de forma a responder as questões ainda pendentes na literatura. Em primeiro lugar, verificaremos se crianças de 6 a 7 anos poderiam efetivamente se envolver na tarefa de JLM usando a IM. Em segundo lugar, vamos explorar possíveis mudanças na capacidade de realizar a tarefa de IM conforme o aumento da idade. Para responder a essas perguntas, primeiramente apresentaremos a análise dos resultados da acurácia geral obtida pelos participantes na tarefa de JLM, seguidos pela análise do TR, por fim, dos efeitos biomecânicos e da regressão simples.

### 3.3.1 Acurácia da tarefa de JLM

Os resultados mostraram uma melhora progressiva no desempenho com o aumento da idade, no entanto, em apenas quatro dos 16 estímulos as diferenças foram estatisticamente significativas. Para os estímulos da mão direita na vista dorsal a ANOVA mostrou diferenças significativas apenas para o ângulo de  $90^\circ$  ( $F[3]=5,285$ ;  $p=0,002$ ). Comparações com post hoc Bonferroni mostraram maior número de acertos dos participantes dos grupos 10-11 anos ( $p=0,016$ ;  $\eta^2=0,189$ ) e 12-13 anos ( $p=0,006$ ;  $\eta^2=0,189$ ) em comparação ao grupo 6-7 anos. Nas análises dos estímulos da mão direita na vista palmar, os resultados revelaram diferenças significativas para os estímulos orientados a  $0^\circ$  ( $F[3]=2,245$ ;  $p=0,040$ ) e  $180^\circ$  ( $F[3]=3,115$ ;  $p=0,032$ ). Análise de post hoc de Bonferroni mostraram melhor acurácia para os participantes do grupo 12-13 anos comparado ao grupo 6-7 anos ( $p=0,055$ ;  $\eta^2=0,121$ ). Para os estímulos da mão esquerda na vista dorsal, as diferenças nas médias de acertos não alcançaram significância estatística (todos  $p < 0,05$ ). Já para os estímulos na vista palmar, da mão esquerda, diferenças estatisticamente significativas foram encontradas apenas para o estímulo orientado

a 270° (F[3]=5,235; p=0,002). Correções com Bonferoni mostraram novamente pior desempenho do grupo 6-7 anos quando comparado ao grupo 12-13 anos (p<0,016;  $\eta^2=0,189$ ). Para as demais análises, não verificamos diferenças significativas (p>0,05). Os resultados referentes à análise gráfica do número de acertos são apresentados na Figura 2.

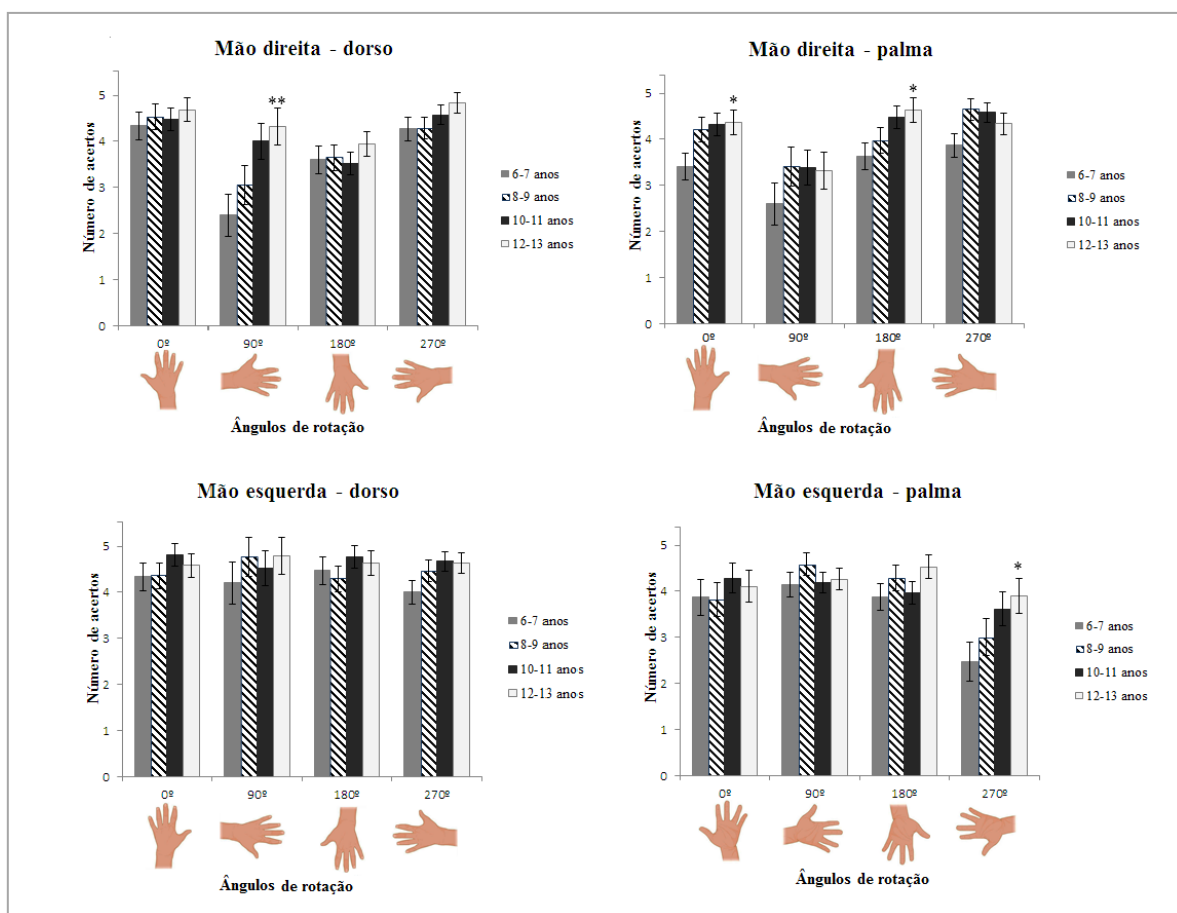


Figura 2: Representação gráfica da acurácia na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos (\*) p<0,05, com grupo 6-7 anos significativamente menos preciso que o grupo 12-13 anos. (\*\*) p<0,05, com grupo 6-7 anos significativamente menos preciso do que os grupos 10-11 e 12-13 anos.

### 3.3.2 Tempo de reação da tarefa de JLM

A Figura 3 apresenta o TR médio das respostas corretas dos quatro grupos etários para os estímulos das mãos direita e esquerda, nas vistas dorsal e palmar, para os quatro ângulos de rotação. Os resultados da ANOVA mostraram diferenças significativas no TR em 13 dos 16 estímulos da tarefa de JLM (p<0,05). Para os estímulos da mão direita na vista dorsal, diferenças estatisticamente significativas foram encontradas nos estímulos orientados a 90° (F[3]=5,029; p=0,004), 180° (F[3]=6,882; p=0,001) e 270° (F[3]=4,162; p=0,010). Correções



com post hoc Bonferroni mostraram que as diferenças significativas no estímulo de 90° ocorreram entre as crianças de 6-7 anos e os participantes dos grupos 10-11 anos ( $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,195$ ) e 12-13 ( $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,195$ ) com maior TR do grupo etário mais novo. Já para o estímulo de 180° apenas o grupo 12-13 anos foi significativamente mais rápido do que o grupo 6-7 anos ( $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,195$ ). Contudo, ao verificar os resultados do post hoc para o estímulo 270°, novamente encontramos pior desempenho do grupo 6-7 anos em relação aos dois grupos de maior faixa etária (10-11 anos:  $p=0,008$ ,  $\eta^2=0,177$ ; 12-13 anos: ( $p=0,005$ ,  $\eta^2=0,177$ ). Ainda nos estímulos da mão direita, mas na vista palmar, diferenças estatisticamente significativas foram encontradas para todos os 4 diferentes estímulos: 0° ( $F[3]=7,731$ ;  $p<0,001$ ), 90° ( $F[3]=7,761$ ;  $p<0,001$ ), 180° ( $F[3]=4,836$ ;  $p=0,004$ ) e 270° ( $F[3]=8,533$ ,  $p<0,001$ ). Em posterior análise com post hoc Bonferroni, verificamos que para todos os estímulos, o grupo 6-7 anos foi significativamente mais lento do que os grupos 10-11 anos e 12-13 anos (0°:  $p=0,004$ ,  $\eta^2=0,254$ ; 90°:  $p=0,011$ ,  $\eta^2=0,161$ ; 180°:  $p=0,020$ ,  $\eta^2=0,176$ ; 270°:  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,314$ ).

No que se refere ao desempenho dos grupos etários nos estímulos da mão esquerda, na vista dorsal, os resultados mostraram diferenças significativas entre os grupos para os estímulos orientados a 0° ( $F[3]=6,885$ ;  $p<0,001$ ) e 90° ( $F[3]=7,731$ ;  $p<0,001$ ). Correções de Bonferroni revelaram que tanto 0° quanto a 90°, os grupos 10-11 anos (0°  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,233$ ) e 12-13 anos ( $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,232$ ) foram significativamente mais rápidos para julgar os estímulos do que as crianças de 6-7 anos. Finalmente, quando analisamos os estímulos da mão esquerda na vista palmar, verificamos diferenças significativas para todos os 4 diferentes ângulos rotacionais (0°  $F[3]=8,771$ ;  $p<0,001$ ; 90°  $F[3]=4,431$ ;  $p=0,007$ ; 180°  $F[3]=5,500$ ;  $p=0,002$  e 270°  $F[3]=5,840$ ;  $p=0,001$ ). Correções com post hoc Bonferroni mostraram maior TR do grupo 6-7 anos quando comparado aos grupos 10-11 anos e 12-13 anos para 3 dos 4 ângulos (0°  $p=0,002$ ,  $\eta^2=0,279$ ; 180°  $p=0,012$ ,  $\eta^2=0,164$ ; e 270°  $p=0,003$ ,  $\eta^2=0,205$ ). Já no estímulo orientado a 90°, apenas o grupo 12-13 anos foi significativamente mais rápido do que o grupo 6-7 anos ( $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,206$ ). Para as demais comparações, a ANOVA não mostrou diferenças significativas ( $p>0,05$ ).

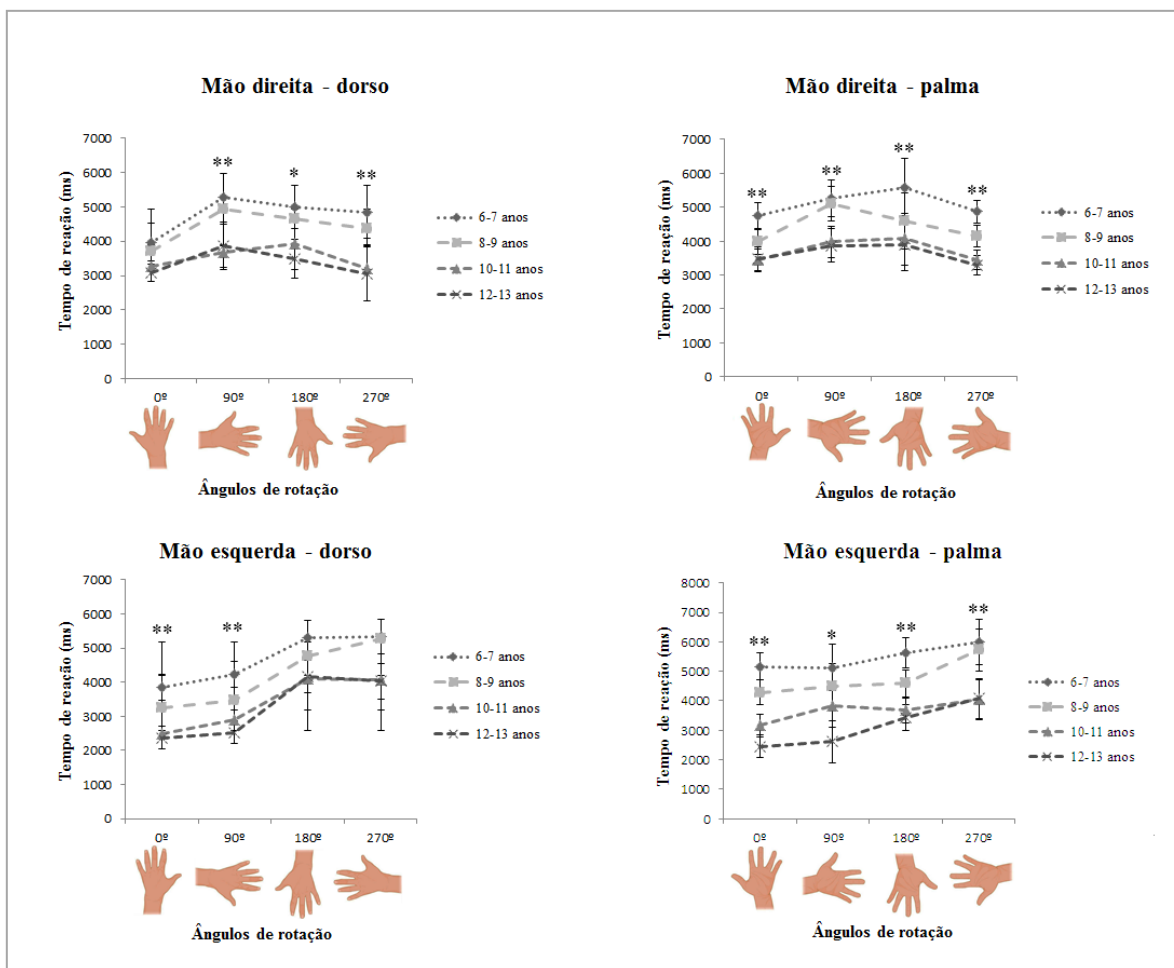


Figura 3: Representação gráfica do TR na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos. (\*)  $p < 0,05$ , com grupo 6-7 anos significativamente mais lento que o grupo 12-13 anos. (\*\*)  $p < 0,05$ , com grupo 6-7 anos significativamente mais lento que os grupos 10-11 e 12-13 anos.

### 3.3.3 Efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM

A ANOVA de medidas repetidas mostrou efeitos principais significativos entre os grupos para a variável ângulo de rotação [ $F(2,88)=29,61$ ;  $p < 0,006$ ;  $\eta^2=0,580$ ], evidenciando diferenças no TR para julgar estímulos mediais quando comparado aos laterais. As análises com post hoc Bonferroni mostraram que todos os grupos etários foram significativamente mais rápidos para julgar estímulos em rotações mediais quando comparado a rotações laterais (6-7 anos:  $p < 0,013$ ,  $\eta^2=0,369$ ; 8-9 anos:  $p < 0,026$ ,  $\eta^2=0,272$ ; 10-11 anos:  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,554$ ; 12-13 anos:  $p < 0,001$ ,  $\eta^2=0,800$ ). Mais especificadamente, os participantes foram significativamente mais rápidos para julgar os estímulos orientados a 90° da mão esquerda (orientação medial) do que 270° da mesma mão (orientação lateral), com  $p < 0,007$ , enquanto

o oposto também foi verdadeiro, ou seja, um maior TR para julgar 90° da mão direita (orientação lateral) quando comparada a 270° (orientação medial) com  $p < 0,001$ .

No que se refere à comparação das médias do TR para julgar os estímulos na vista dorsal e palmar, as diferenças encontradas não foram estatisticamente significativas, com todas as probabilidades maiores que 5 % ( $p's > 0,05$ ). Contudo, verificamos uma vantagem dos participantes para julgar os estímulos da vista dorsal. Os resultados referentes às comparações das médias dos TRs dos estímulos em rotações mediais e laterais são expostos na Figura 4, enquanto a Figura 5 mostra os resultados comparativos das médias do TR gasto pelos participantes para julgar os estímulos nas vistas dorsal e palmar.

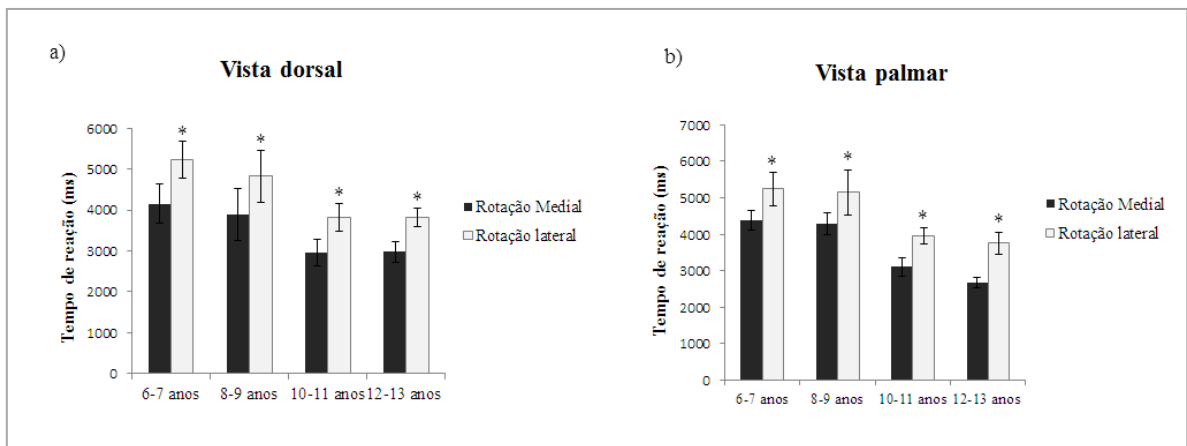


Figura 4: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos apresentados em rotações mediais e laterais, nas vista dorsal (a) e palmar (b). (\*)  $p < 0,05$ , com menor TR para julgar os estímulos em orientações mediais.

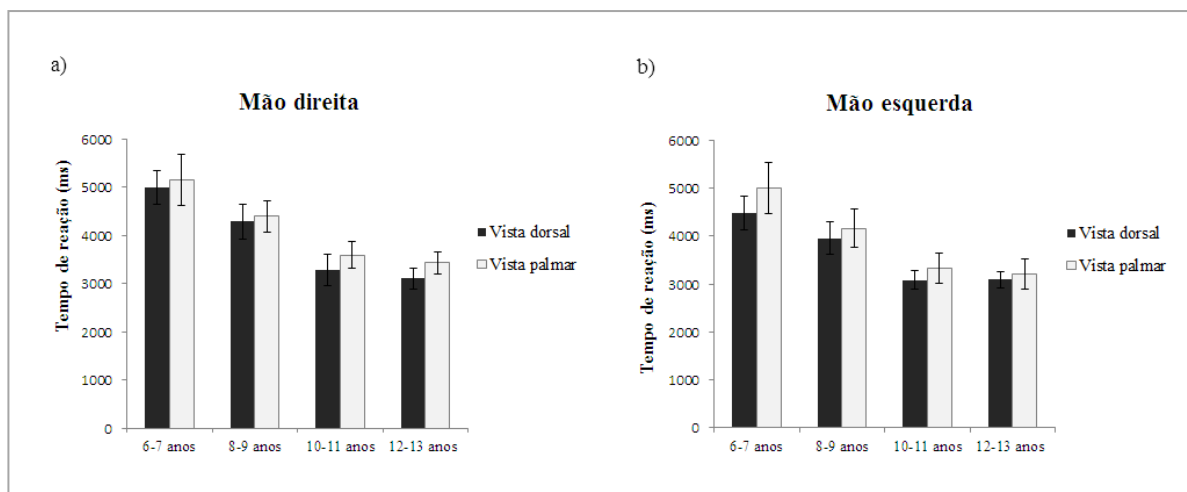


Figura 5: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos da vista dorsal comparado a vista palmar, para os estímulos da mão direita (a) e esquerda (b).

Por fim, uma análise de regressão simples foi conduzida para determinar se a idade poderia prever eficiência na tarefa de JLM. Os resultados revelaram que a idade demonstrou ser um preditor significativo de desempenho na tarefa de IM, como mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Modelo de regressão linear simples para verificar se a idade poderia prever eficiência na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.

Estímulos	$r^2$ adj.	$\beta$	$t$	$p$
Mão direita	0,329	-0,582	-5,982	< 0,001
Mão esquerda	0,357	-0,605	-6,357	< 0,001

### 3.4 Discussão

O presente estudo foi desenhado para testar a hipótese de que haveria melhoria na capacidade de IM conforme o aumento da idade. Para tal, utilizamos a tarefa de JLM para avaliar crianças e adolescentes com idade entre 6 a 13 anos. Os resultados das análises revelaram três achados principais. Primeiro, as crianças mais novas (6 a 7 anos) foram capazes de realizar tarefa de IM, porém, com desempenho inferior quando comparado às crianças mais velhas. Em segundo lugar, quando observamos o desempenho geral dos grupos etários, verificamos melhoria progressiva no desempenho da tarefa à medida que aumentava a idade dos participantes, ou seja, quanto maior a idade melhor a capacidade de IM. Em terceiro lugar, encontramos a presença do efeito das restrições biomecânicas da tarefa para todas as 4 faixas etárias, evidenciando que de fato os participantes utilizaram a IM para resolver a tarefa. Em geral, todos os grupos apresentaram menor TR para reconhecer os estímulos orientados em posições mediais, quando comparado a orientações laterais (efeito biomecânico). Por fim, verificamos ainda que quando os estímulos da tarefa foram apresentados na vista dorsal, os voluntários obtiveram menor TR para julgar os estímulos. Os principais achados desse estudo serão discutidos a seguir.

Embora os movimentos imaginados tenham ganhado muita atenção nos últimos anos, poucos estudos têm investigado o desenvolvimento da IM durante a infância e início da adolescência, principalmente quando avaliado através da tarefa de JLM. Nossos resultados sugerem que, mesmo em idade mais jovem (6-7 anos), a IM é executada, contudo, a precisão com que isso ocorre é significativamente reduzida e o TR é maior quando comparado com

crianças mais velhas. Esses achados são suportados pelo estudo de Funk, Bruguer e Wilkening (2005), que, utilizando uma versão similar da tarefa de JLM, reportaram que crianças de 5 e 6 anos são capazes de realizar com sucesso a tarefa de IM. Spruijt, Van der Kamp e Steenbergen (2015), no entanto, não puderam confirmar essas observações, e, informaram que crianças com idade de 6 anos não realizam tarefas de IM. Os resultados divergentes reportados por Spruijt, Van der Kamp e Steenbergen (2015) podem ser explicados pela tarefa empregada no estudo. Os autores não utilizaram a tarefa de JLM e sim a cronometragem das ações imaginadas e executadas.

Dos estudos que investigaram a capacidade de IM em populações infantis, em geral, utilizaram como instrumento de medida a tarefa de JLM ou o paradigma de cronometragem dos movimentos imaginados e executados. Nesse último, os participantes executam e imaginam determinado movimento e, posteriormente, é realizada a análise de correlação do tempo gasto para execução de ambas as formas de movimento. Por outro lado, na tarefa de JLM, os indivíduos apenas imaginam implicitamente os movimentos de rotação das mãos esquerda ou direita, em diferentes vistas, e julgam sua lateralidade. Embora exista certa divergência entre os resultados de estudos que avaliaram a IM utilizando essas tarefas, em sua maioria, sugerem que a capacidade de IM se desenvolve gradualmente entre 5 e 12 anos de idade (Smits-Engelsman e Wilson, 2012; Butson et al, 2014; Hoyek et al, 2009; Molina, Tijus & Jouen, 2008; Smits-Engelsman & Wilson, 2013).

Colocamos a hipótese de que haveria mudanças na capacidade de IM com o avançar da idade. Nossos resultados apoiam a hipótese desse estudo ao evidenciar melhor desempenho na tarefa de JLM dos grupos etários de maior idade. Tal conclusão foi tomada a partir da observação das análises que evidenciaram diminuição progressiva no TR à medida que aumentava a faixa etária dos participantes. Além disso, o mesmo aconteceu quando foi analisada a acurácia da tarefa. Esses resultados se encaixam com os dados reportados por Choudhury et al (2007), que avaliaram a IM por meio da cronometragem das ações executadas e imaginários em adolescentes e adultos. Esses pesquisadores concluíram que tanto os adolescentes quanto os adultos apresentaram uma correlação entre o tempo dos movimentos executados e imaginados, contudo, a correlação foi mais forte na população adulta. Nossos resultados, tomados em conjunto aos resultados de Choudhury et al (2007), nos permitem sugerir que a IM sofre um refinamento progressivo durante a infância e início da adolescência, alcançando completo desenvolvimento na vida adulta.

Explorando os resultados referentes a análises dos efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM, observamos um maior TR para o julgamento dos estímulos orientados lateralmente. Os achados do presente estudo são consistentes com outros estudos envolvendo a IM, como por exemplo, o estudo de De Lange, Helmich e Toni (2006) que avaliaram a ativação cerebral de indivíduos saudáveis durante a realização da tarefa de JLM, utilizando o método de ressonância magnética funcional. Os resultados evidenciaram maior nível de ativação de regiões pré-motoras e intraparietais quando os indivíduos respondiam aos estímulos apresentados em posições mediais quando comparado a estímulos laterais.

O presente estudo complementou os achados de Caeyenberghs et al (2009), que também mostraram melhorias na capacidade de IM com a idade ao avaliarem crianças de 7 a 12 anos utilizando a tarefa de JLM. Caeyenberghs et al (2009), no entanto, não examinaram os efeitos das restrições biomecânicas da tarefa em seu estudo, o que levou alguns pesquisadores a contestarem seus resultados (Wilson et al, 2004). Para Parsons (1994), criador da versão original da tarefa de JLM, a análise dos efeitos das restrições biomecânicas é essencial, pois fornece evidências claras quanto ao fato da IM ter sido utilizada para resolver a tarefa de JLM. Em apoio a essa premissa de Parsons, Williams et al (2012) ressaltam ainda que os efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM ocorrem porque girar fisicamente as mãos para posições mediais é mais fácil que girar lateralmente as mãos. Dessa forma, os estímulos mais fáceis de serem executados fisicamente também são julgados mais rapidamente. Isto é claramente comprovado pela Lei de Fitts (1954), que determina que o tempo necessário para executar um movimento aumenta com a dificuldade da tarefa. Para Wilson et al. (2004), essa lei se aplica tanto aos movimentos físicos quanto aos movimentos imaginados, suportando a ideia de que os mesmos fatores biomecânicos que restringem os movimentos reais também determinam os movimentos imaginados. Tal fato reforça a importância de se analisar os efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM para determinar o uso da IM.

Curiosamente, os participantes desse estudo reconheceram mais rapidamente os estímulos quando apresentados na vista dorsal. Resultados semelhantes foram reportados por Butson et al. (2014) que verificaram que as crianças de 5 a 12 anos também apresentaram TR mais rápido para os estímulos da vista dorsal. Sabendo que, para julgar os estímulos, os indivíduos imaginam sua mão se movendo a partir da posição atual, uma possível explicação para esse achado seria o fato dos indivíduos permanecerem com as mãos na postura dorsal durante a execução da tarefa. Fortalecendo essa hipótese, algumas linhas de evidências (Ter

Horst, Lier & Steenbergen, 2010; Parsons, 1994) sugerem que o tempo para julgar a lateralidade da mão é fortemente influenciado pela posição real do membro durante a resolução da tarefa. Por conseguinte, ao julgar a lateralidade de figuras das mãos, os voluntários simulam o movimento do próprio corpo a partir da sua posição atual, e não de uma representação fixa no cérebro (Parsons, 1994). Os resultados de Shenton, Schwoebel e Coslett (2004) confirmam essa premissa. Esses autores desenharam um estudo para avaliar a influência da postura da mão sobre o desempenho na tarefa de JLM. Para tal, os voluntários realizaram dois blocos de julgamento: um com as mãos na postura dorsal e um segundo com as mãos na postura palmar. Os autores verificaram que não houve diferenças significativas no TR para julgar os estímulos na postura dorsal comparativamente à postura palmar, evidenciando que a postura da mão durante a resolução da tarefa influencia o TR gasto para julgar os estímulos.

Os resultados da regressão utilizando a idade como uma variável preditora evidenciaram que a idade foi claramente um preditor de desempenho na tarefa de JLM. Esses achados estão em consonância com pesquisas anteriores que sugerem que o desenvolvimento da IM está associado ao desenvolvimento de estruturas neurais (córtex parietal posterior, área pré-motora, cerebelo e região fronto-parietal) consideradas cruciais para a simulação interna dos movimentos (Caeyenberghs et al, 2009). Essas estruturas neurais envolvidas em IM passam por um longo período de desenvolvimento e permanece até o final da infância e adolescência (Gogtay et al, 2004). Dessa forma, a melhora no desempenho da IM com a idade encontrada nesse estudo pode ser atribuída à maturação de regiões cerebrais ligadas aos movimentos imaginados. Em apoio a essa hipótese, Butson et al (2014), recentemente, propuseram que a maturação do córtex parietal e pré-frontal que ocorre ao longo da infância e adolescência é a razão para a melhora observada na capacidade de realizar tarefa de IM.

### 3.5 Conclusão

A partir da presente pesquisa realizada envolvendo crianças e adolescentes com desenvolvimento típico podemos concluir que as crianças mais novas, entre 6 e 7 anos, são capazes de realizar tarefa de IM. Além disso, considerando a melhoria no desempenho da tarefa de JLM conforme o aumento da idade é possível inferir ainda que a IM sofre um refinamento contínuo e progressivo ao longo da infância e início da adolescência. Assim, o envolvimento dos movimentos imaginados de partes do corpo tornam-se progressivamente

mais fortes com o avançar da idade. Presume-se que a melhora no desempenho da tarefa de JLM encontrada nesse estudo reflete uma maturação das redes neurais subjacentes a IM. Este estudo amplia a compreensão de como a IM se desenvolve com a idade, contudo, estudos que estendam a faixa etária da amostra são ainda necessários a fim de elucidar o desenvolvimento da IM em crianças menores de 5 anos.

### 3.6 Referências

- Bideaud, J., & Courbois, Y. (2000). Nouvelles approches de la psychologie cognitive. In *Le développement de l'imagerie mentale* (pp. 157-184). Presses Universitaires de France Paris.
- Butson, M. L., Hyde, C., Steenbergen, B., & Williams, J. (2014). Assessing motor imagery using the hand rotation task: Does performance change across childhood? *Human movement science, 35*, 50-65.
- Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Motor imagery development in primary school children. *Developmental Neuropsychology, 34*(1), 103-121.
- Choudhury, S., Charman, T., Bird, V., & Blakemore, S. J. (2007). Adolescent development of motor imagery in a visually guided pointing task. *Consciousness and cognition, 16*(4), 886-896.
- Conson, M., Mazzarella, E., & Trojano, L. (2013). Developmental changes of the biomechanical effect in motor imagery. *Experimental brain research, 226*(3), 441-449.
- Decety, J., Jeannerod, M., & Prablanc, C. (1989). The timing of mentally represented actions. *Behavioural brain research, 34*(1), 35-42.
- de Lange, F. P., Helmich, R. C., & Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *Neuroimage, 33*(2), 609-617.
- Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of experimental psychology, 47*(6), 381.
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: The case of mental rotation of hands. *Developmental Science, 8*(5), 402-408.
- Gabbard, C. (2009). Studying action representation in children via motor imagery. *Brain and Cognition, 71*(3), 234-239.
- Gogtay, N., Giedd, J. N., Lusk, L., Hayashi, K. M., Greenstein, D., Vaituzis, A. C., ... & Rapoport, J. L. (2004). Dynamic mapping of human cortical development during



childhood through early adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(21), 8174-8179.

- Hoyek, N., Champely, S., Collet, C., Fargier, P., & Guillot, A. (2009). Age and gender-related differences in the temporal congruence development between motor imagery and motor performance. *Learning and Individual Differences*, 19(4), 555-560.
- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(8), 1133-1141.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109.
- Jeannerod, M. (1994). Motor representations and reality. *Behavioral and Brain sciences*, 17(02), 229-245.
- Keen, R. (2011). The development of problem solving in young children: A critical cognitive skill. *Annual review of psychology*, 62, 1-21.
- Kosslyn, S. M., Digirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, 35(02), 151-161.
- Lequerica, A., Rapport, L., Axelrod, B. N., Telmet, K., & Whitman, R. D. (2002). Subjective and objective assessment methods of mental imagery control: Construct validations of self-report measures. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 24(8), 1103-1116.
- Levine, S. C., Huttenlocher, J., Taylor, A., & Langrock, A. (1999). Early sex differences in spatial skill. *Developmental psychology*, 35(4), 940.
- Marmor, G. S. (1977). Mental rotation and number conservation: Are they related?. *Developmental Psychology*, 13(4), 320.
- Maruff, P., Wilson, P. H., De Fazio, J., Cerritelli, B., Hedt, A., & Currie, J. (1999). Asymmetries between dominant and non-dominant hands in real and imagined motor task performance. *Neuropsychologia*, 37(3), 379-384.
- McAvinue, L. P., & Robertson, I. H. (2008). Measuring motor imagery ability: a review. *European journal of cognitive psychology*, 20(2), 232-251.
- Mischel, W., Shoda, Y., & Rodriguez, M. I. (1989). Delay of gratification in children. *Science*, 244(4907), 933-938.
- Molina, M., Tijus, C., & Jouen, F. (2008). The emergence of motor imagery in children. *Journal of experimental child psychology*, 99(3), 196-209.

- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20(4), 709.
- Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *L'image mentale chez l'enfant*.
- Ruby, P., & Decety, J. (2001). Effect of subjective perspective taking during simulation of action: a PET investigation of agency. *Nature neuroscience*, 4(5), 546-550.
- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects.
- Shenton, J. T., Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience letters*, 370(1), 19-24.
- Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Cognitive Neuroscience, Journal of*, 13(7), 910-919.
- Smits-Engelsman, B. C., & Wilson, P. H. (2013). Age-related changes in motor imagery from early childhood to adulthood: probing the internal representation of speed-accuracy trade-offs. *Human movement science*, 32(5), 1151-1162.
- Spruijt, S., van der Kamp, J., & Steenbergen, B. (2015). The ability of 6-to 8-year-old children to use motor imagery in a goal-directed pointing task. *Journal of experimental child psychology*, 139, 221-233.
- Steenbergen, B., Craje, C., Nilsen, D. M., & Gordon, A. M. (2009). Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 51(9), 690-696.
- Ter Horst, A. C., van Lier, R., & Steenbergen, B. (2010). Mental rotation task of hands: differential influence number of rotational axes. *Experimental brain research*, 203(2), 347-354.
- Vargas, C. D., Olivier, E., Craighero, L., Fadiga, L., Duhamel, J. R., & Sirigu, A. (2004). The influence of hand posture on corticospinal excitability during motor imagery: a transcranial magnetic stimulation study. *Cerebral cortex*, 14(11), 1200-1206.
- Wolbers, T., Weiller, C., & Büchel, C. (2003). Contralateral coding of imagined body parts in the superior parietal lobe. *Cerebral cortex*, 13(4), 392-399.
- Wilson, P. H., Thomas, P., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., & Bamford, N. (2005). Motor imagery training ameliorates DCD in children: A replication study.
- Williams, J., Pearce, A. J., Loporto, M., Morris, T., & Holmes, P. S. (2012). The relationship between corticospinal excitability during motor imagery and motor imagery ability. *Behavioural brain research*, 226(2), 369-375.

- Wilson, P. H., Maruff, P., Butson, M., Williams, J., Lum, J., & Thomas, P. R. (2004). Internal representation of movement in children with developmental coordination disorder: a mental rotation task. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 46(11), 754-759.
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729-R732.
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in cognitive sciences*, 1(6), 209-216.

#### **4. Capacidade de Imagética Motora em crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.**

Deisiane Oliveira Souto<sup>1</sup>, Thalita Karla Flores Cruz<sup>1</sup>, Annelise Julio-Costa<sup>2</sup>, Kênia Carvalho Coutinho<sup>3</sup>, Patrícia Lemos Buenos Fontes<sup>4</sup>, Vitor Geraldi Haase<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>. Mestranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>. Mestre em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup> Professora Doutora, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Professor Doutor Orientador do Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

## RESUMO

Recentemente foi proposto que a limitação funcional observada em indivíduos com paralisia cerebral hemiplégica (PCH) não é causada apenas por déficits na execução motora, mas também por problemas com o planejamento motor. Evidências indicam que a deficiência no planejamento motor observada nessa população pode estar relacionada a uma reduzida capacidade para utilizar imagética motora (IM). A esse respeito, os estudos realizados reportaram resultados contrastantes, não permitindo conclusões definitivas. Neste estudo, nós examinamos se crianças e adolescentes com PCH são capazes de se envolver em tarefa de IM, investigando ainda o efeito da lateralidade da hemiplegia sobre tal habilidade. Verificamos ainda possível associação entre IM e as variáveis desempenho funcional, memória de trabalho e inteligência. Participaram desse estudo 24 crianças com paralisia cerebral hemiplégica, subdivididas em dois grupos: paralisia cerebral hemiplégica à direita - PCHD (N: 19, idade  $10\pm 2,8$  anos) e paralisia cerebral hemiplégica à esquerda - PCHE (N: 5, idade  $12,8\pm 1,09$  anos). Um grupo de 68 crianças sem lesão neurológica foi incluído no estudo para compor o grupo controle - GC (idade média  $10,62\pm 1,95$  anos). A tarefa de julgamento da lateralidade das mãos foi empregada para mensurar a capacidade de IM. Nessa tarefa, figuras das mãos são apresentadas em diferentes orientações espaciais aos participantes que devem julgar se a figura apresentada corresponde à mão direita ou esquerda. Além do tempo de reação e acurácia, a presença do efeito das restrições biomecânicas é que define se os participantes estavam envolvidos em IM para resolver a tarefa. Os resultados desse estudo mostraram diferenças significativas entre os grupos hemiplégicos e controle na acurácia em 4 dos 16 estímulos da tarefa ( $p < 0,05$ ), com melhor desempenho do GC. As médias do tempo de reação não diferiram significativamente entre os grupos ( $p > 0,05$ ). Todos os grupos apresentaram o efeito biomecânico da tarefa. Encontramos uma associação entre a IM e o desempenho funcional. A memória de trabalho e a inteligência não apresentaram relação com IM. Os resultados desse estudo apontam que os participantes com PCH têm um comprometimento na habilidade de IM, contudo, esse comprometimento não é suficiente para impedir o uso da IM. Além disso, verificamos que a capacidade de realizar tarefas de IM pode estar relacionada tanto com a lateralidade da hemiplegia quanto pelo desempenho funcional dos indivíduos com PCH.

Palavras chave: imagética motora, julgamento da lateralidade das mãos, paralisia cerebral hemiplégica.

#### ASBTRACT

It has recently been proposed that the functional limitation observed in patients with hemiplegic cerebral palsy (HCP) is not only caused by deficits in motor performance, but also by problems with motor planning. Evidence indicates that a impairment in motor planning observed in this population may be related to a reduced ability to use motor imagery (MI). In this regard, studies have reported contrasting results, not allowing definitive conclusions. In this study, we examined whether children and adolescents with HCP are able to engage in MI task and to investigate the effect of laterality of hemiplegia on such ability. We also found a possible association between BMI and the variables functional performance, working memory and intelligence. The study included 24 children with hemiplegic cerebral palsy, subdivided into two groups: hemiplegic cerebral palsy on the right - RHCP (N: 19, age  $10 \pm 2.8$  years) and hemiplegic cerebral palsy left - LHCP (N: 5, age  $12.8 \pm 1.09$  years). A group of 68 children without neurological injury was included in the study to make up the control group - CG (average age  $10.62 \pm 1.95$  years). A modified version of the judgment task laterality of hands was used to measure the MI capability. In this task, figures hands are presented in different spatial orientations to participants who must judge whether the figure given corresponds to the right or left hand. Besides the reaction time and accuracy, the presence of the effect of biomechanical constraints is defining whether the participants were involved in MI to solve the task. The results of this study show significant differences between the hemiplegic and control groups in the accuracy in 4 of the 16 stimuli of the task ( $p < 0.05$ ), with better CG performance. The average reaction time did not differ significantly between groups ( $p > 0.05$ ). All groups showed the biomechanical effect expected for the task. We found an association between the IM and functional performance. Working memory and intelligence were not associated with IM. The results of this study showed that participants with HCP have a commitment in the MI skill, however, this commitment is not enough to prevent the use of MI. In addition, we found that the ability to perform MI tasks may be related both to the laterality of hemiplegia as the functional performance of individuals with HCP.

Keywords: motor imagery, judgment of the laterality of hands, cerebral palsy.

## 4.1 Introdução

Os indivíduos com paralisia cerebral hemiplégica (PCH) apresentam comprometimentos motores variados, resultantes de lesão unilateral no cérebro imaturo (Bax et al., 2005). Estudos recentes sugerem que os déficits motores em indivíduos com PCH não são causadas apenas por dificuldades na execução motora, mas também com problemas no planejamento motor (Craje et al, 2010; Mutsaerts, Steenbergen & Bekkering, 2006; Gordon, Charles & Steenbergen, 2006). Esse pressuposto está em conformidade com vários estudos que reportaram planejamento motor comprometido em crianças e adolescente com PCH (Steenbergen, Hulstijn & Dortmans, 2000; Te Velde, et al., 2005; Mutsaerts, Steenbergen & Bekkering, 2006; Craje et al, 2010). Steenbergen, Meulenbroek e Rosenbaum (2004) ressaltam ainda que esses déficits de planejamento podem ser mais proeminentes em pacientes com hemiplegia do lado direito do corpo.

Recentemente, foi proposto que a imagética motora (MI), ou seja, simulação interna do movimento, apresenta contribuição crítica para o processo de planejamento dos movimentos, sendo considerada um pré-requisito necessário para o planejamento motor (Jeannerod, 1994). Tal pressuposto está de acordo com um número crescente de estudos de neuroimagem que demonstraram que os substratos neurais ativados durante tarefas de IM também são ativados durante o planejamento e a execução motora (Sirigu & Duhamel, 2001; Wohlschlagel, 2001; Page, 2001). Para Johnson (2000), a IM e o planejamento motor são processos intimamente relacionados já que a IM reflete a representação de um plano motor inibido, enquanto o planejamento motor envolve fazer uma previsão sobre o estado futuro de um movimento.

De acordo com as teorias que sugerem que a IM desempenha um papel crítico no processo de planejamento do movimento, os déficits de planejamento motor observados na PCH poderiam estar relacionados a uma redução da capacidade para utilizar IM (Mutsaerts, Steenbergen & Bekkering, 2006). A fim de investigar esta hipótese, um pequeno número de estudos testando a capacidade de IM de crianças e adolescentes com PCH foi desenvolvido (Craje et al, 2010;. Mutsaerts, et al, 2007; Steenbergen, Van Nimwegen & Craje, 2007; Williams et al, 2012) usando variações da tarefa de rotação mental (Shepard & Metzler, 1971). Tarefas de rotação mental baseiam-se no fato de que o tempo gasto para rodar mentalmente uma imagem depende da rotação angular da referida imagem (Shepard & Metzler, 1971). Uma variação da tarefa de rotação mental que vem sendo usada na avaliação

da IM é a tarefa de Julgamento da Lateralidade das Mãos - JLM (Parsons, 1994). Nessa tarefa, figuras das mãos são apresentadas em diferentes ângulos de rotação e os participantes devem decidir se o estímulo apresentado corresponde à mão esquerda ou direita. Estudos de neuroimagem sugerem que, quando os participantes observam a figura de uma mão em uma determinada orientação e têm que decidir se é a mão esquerda ou direita, eles imaginam sua própria mão se movendo para a orientação do estímulo e assim determinam a lateralidade (de Lange, Helmich & Toni, 2006; Kosslyn et al, 1998). Na tarefa de JLM, o efeito das restrições biomecânicas é a principal medida de resultado para refletir a capacidade de IM. Esse efeito está presente quando as características que afetam os movimentos reais também influenciam a tarefa imaginada. Isto é claramente exemplificado em estudos com adultos e crianças saudáveis que mostraram um aumento no TR em função do ângulo de rotação do estímulo da mão (Funk, Brugger, & Wilkening, 2005; Parsons, 1994). Mais precisamente, os estímulos da mão orientados medialmente são biomecanicamente mais fáceis de serem julgados em comparação aos estímulos da mão orientados lateralmente (Caeyenberghset al., 2009). Dessa forma, o TR para os estímulos em orientações mediais é menor do que o TR gasto para reconhecer os estímulos orientados lateralmente, caracterizando a presença do efeito das restrições biomecânicas. Para de Lange, Helmich & Toni (2006), a presença desse efeito é crucial para concluir se os participantes usaram IM para resolver a tarefa de JLM.

Utilizando a tarefa de JLM, Mutsaerts, Steenbergen e Bekkering (2007) avaliaram se a capacidade de realizar uma tarefa de IM é comprometida em adolescentes com PCH. Esses autores encontraram um aumento linear no TR em função do ângulo de rotação para os participantes do grupo controle e com PCH à esquerda, sugerindo a IM intacta. No entanto, essa relação linear entre o TR e a orientação dos estímulos da tarefa estava ausente para os participantes com PCH à direita. Para esses autores, o fato das funções relacionadas ao sistema motor serem controladas primordialmente pelo hemisfério esquerdo justifica o pior desempenho dos adolescentes com PCH à direita. Os achados de Mutsaerts, Steenbergen & Bekkering (2007) apoiam a ideia de que a IM pode ser lateralizada. Consistente com isso, Fadiga et al (1998) mostraram que a estimulação magnética do córtex motor esquerdo demonstrou ativação quando os participantes imaginavam movimentos tanto com sua mão direita quanto com a mão esquerda. Por outro lado, a estimulação do córtex motor à direita, demonstrou ativação apenas quando os participantes imaginavam movimentos da mão contralateral. Com base nessas descobertas, acreditamos que a IM, assim como as funções



relacionadas ao sistema motor, apresenta um padrão de lateralização predominante no hemisfério esquerdo.

Steenbergen, van Nimwegen e Crajé (2007), após aplicar a tarefa de JLM em crianças com PCH, concluíram que tanto os hemiplégicos à direita quanto os à esquerda foram menos precisos e mais lentos quando comparados às crianças com desenvolvimento típico, sugerindo que as crianças com PCH apresentam um comprometimento na capacidade de realizar tarefas de IM, e que, é independente do lado da lesão. Curiosamente, em pesquisa recente, Jongsma et al (2015) reportaram capacidade para realizar tarefa de IM na PCH apenas quando seu lado menos afetado é envolvido. Uma possível explicação para os achados de Jongsma et al (2015) diz respeito à relação entre a IM e o desempenho funcional do membro acometido. Possivelmente, o pobre desempenho funcional do membro plégico pode influenciar o desempenho dos participantes na tarefa de IM. Essa hipótese é apoiada pelo estudo de Williams et al (2012), que fizeram uma análise de correlação entre os dados da tarefa de IM e um questionário utilizado para avaliar o nível de função do membro superior de crianças com PCH. Os resultados apontaram para uma associação positiva, sugerindo que as habilidades motoras pobres podem resultar em uma redução da capacidade para executar tarefas de IM. No entanto, esses resultados precisam ser interpretados com alguma cautela, tendo em vista que o instrumento utilizado na avaliação do desempenho funcional tratava-se de um questionário subjetivo aplicado aos pais das crianças.

Além das habilidades motoras, um segundo fator que possivelmente pode limitar o sucesso das crianças e adolescentes com PCH em executar tarefas de IM é a capacidade de memória de trabalho. De acordo com Malouin et al (2004), para realizar IM é necessário adquirir, reter e manipular a informação na memória de trabalho, permitindo que a informação seja recuperada durante o processo de imaginação. Postula-se que os domínios visuo-espacial, cinestésico e verbal da memória de trabalho estão diretamente envolvidos na execução de tarefas de IM. Dessa forma, um prejuízo na memória de trabalho afetaria a eficácia nas tarefas de IM. Embora seja de grande importância, os estudos desenvolvidos até o momento não investigaram se as crianças apresentavam capacidade de memória de trabalho preservada, nem tão pouco examinaram a provável associação entre as variáveis IM e memória de trabalho. Diferentemente dos estudos em crianças, pesquisas com hemiplégicos adultos pós-acidente vascular cerebral (AVC) foram mais cautelosos controlando a variável memória de trabalho (Malouin et al, 2012). Além disso, esses estudos reportaram associações positivas entre a capacidade de IM e a memória de trabalho (Malouin et al, 2012).

Em desacordo com os estudos que apontaram a IM comprometida na PCH, Williams et al (2011), usando a tarefa de JLM, não encontraram diferenças no desempenho dos participantes do grupo PCH quando comparados as crianças saudáveis do grupo controle, todos os grupos estavam em conformidade com as limitações biomecânicas da tarefa, apoiando a utilização de IM. Além disso, Williams et al (2011), reportaram ainda que as crianças com PCH à esquerda foram menos precisas do que as crianças do grupo controle em três dos cinco estímulos da tarefa. Para esses autores, a precisão reduzida nas crianças com PCH à esquerda pode estar relacionada à alta proporção de crianças nesse grupo com baixo nível de função dos membros superiores. Dessa forma, esses resultados não suportam a hipótese de que os déficits de IM são mais propensos de serem observados na hemiplegia direita e reforçam a ideia de que a capacidade para realizar tarefa de IM pode depender do nível de desempenho funcional da criança.

Em estudo recente, Spruijt et al. (2013) sugeriram que crianças com PCH podem sim executar tarefas de IM. Nesse estudo, os autores utilizaram uma tarefa na qual o tempo gasto para a realização de um movimento imaginado foi correlacionado com o tempo gasto para a execução do referido movimento. Estes achados suportam os resultados encontrados por Williams et al (2011), além disso, estão de acordo com os dados reportados na hemiplegia adulta. Johnson (2000), após avaliar a capacidade em realizar tarefa de IM em hemiplégicos após AVC, sugeriu que tanto na fase aguda quanto crônica os indivíduos ainda podem realizar tarefas que exigem o uso de IM.

Coletivamente, os estudos desenvolvidos até o momento não permitem uma conclusão definitiva sobre a capacidade de realizar tarefa de IM em crianças e adolescentes com PCH. Sabendo que a IM desempenha papel crítico no processo de planejamento e execução dos movimentos, esclarecer se os indivíduos com PCH são capazes de realizar tal habilidade é necessário. Além disso, verificar se a capacidade de IM está preservada nessa população constitui um passo importante para experimentos com intervenções utilizando a IM como uma ferramenta na reabilitação neuromotora. Diante do exposto, o presente estudo foi projetado para verificar se a capacidade de IM está comprometida em crianças e adolescentes com PCH, bem como investigar possível efeito da lateralidade da lesão sobre a habilidade de IM. Dada às linhas de evidências (Jeannerod, 1994; Butson et al, 2014) sugerindo relação entre a IM e os movimentos fisicamente executados, tivemos como objetivo secundário verificar possível correlação entre a IM e o desempenho funcional do membro afetado. Verificamos ainda possível associação da capacidade de realizar tarefa de IM e a memória de trabalho. Tal

objetivo foi definido tendo em vista as evidências mostrando que a memória de trabalho é pré-requisito para realizar tarefas de IM (Malouin et al, 2004). Por fim, constituiu ainda um objetivo do presente estudo, avaliar associação entre a IM e o nível de inteligência de voluntários com PCH.

Nossa hipótese é que as respostas dos participantes com PCH, assim como os indivíduos do GC, obedeceriam às restrições biomecânicas da tarefa de JLM (TR mais rápido para os estímulos rodados medialmente). Em contrapartida, as crianças com PCH seriam menos precisas e mais lentas do que o grupo comparação. Dada as evidências mostrando uma lateralização da IM para o hemisfério esquerdo, acreditamos ainda que os participantes do com PCH à direita apresentariam desempenho inferior quando comparados aos indivíduos do grupo PCHE. Por fim, esperamos encontrar melhor capacidade de realizar a tarefa de IM nos participantes com melhor nível de função e melhor capacidade para memória de trabalho. Dada a natureza da IM, acreditamos que a correlação entre a inteligência e tal habilidade não resultará em associações positivas.

## 4.2 Métodos

### 4.2.1 Participantes

Participaram desse estudo 24 voluntários [idade média = 10,75 ( $\pm$ 2,80) anos] com diagnóstico de PCH, recrutados a partir de dois centros de reabilitação localizados no sudeste do Brasil (Belo Horizonte e Região Metropolitana, Minas Gerais). Os participantes foram alocados em dois grupos: paralisia cerebral hemiplégica à direita (PCHD) composto por 19 voluntários [idade média = 10,13 ( $\pm$ 2,80) anos] e paralisia cerebral hemiplégica à esquerda (PCHE) com cinco voluntários [idade média = 12,80 ( $\pm$ 1,09) anos]. Um grupo de 68 crianças sem histórico de lesão neurológica foi incluído no estudo para compor o grupo controle - GC [idade média = 10,62 (1,95) anos]. Todos os participantes tinham visão normal ou corrigida, possuíam capacidade para discriminar direita e esquerda e concordaram em participar do estudo mediante assinatura de termo de consentimento livre esclarecido. Todos os procedimentos da pesquisa foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG).

### 4.2.2 Instrumentos de medida

*Avaliação da Inteligência:* A avaliação do nível de inteligência dos participantes foi realizada para assegurar que não haveria diferenças sistemáticas na inteligência geral entre os participantes com PCH esquerda e direita. Além disso, examinaremos possíveis correlações entre os escores de QI e o desempenho na tarefa de JLM (acurácia e TR) a fim de verificar a existência de associação entre o nível de inteligência e a capacidade para realizar tarefa de IM. Para tal, o teste das Matrizes Progressivas Coloridas de Raven (Alves, Duarte & Burgemeister, 1993) foi utilizado para as crianças de 7 a 11, 9 anos. Para os adolescentes de 12 a 14 anos foi aplicado o Subteste cubos do *Wechsler Intelligence Scale for Children fourth Edition* – WISC IV (Wechsler, 2003).

*Avaliação da IM:* Uma versão modificada da tarefa de JLM de Parsons (1994) foi empregada para estudar a capacidade de realizar tarefa de IM dos participantes (Figura 1). Durante essa tarefa, foram apresentados no centro da tela de um computador desenhos digitais das mãos direita e esquerda, nas vistas dorsal e palmar, em quatro ângulos de rotação (0°, 90°, 180° e 270°) e os participantes deveriam julgar a lateralidade dos estímulos. Essa versão da tarefa de JLM é composta de 16 estímulos diferentes, repetidos cinco vezes cada, totalizando 80 estímulos.

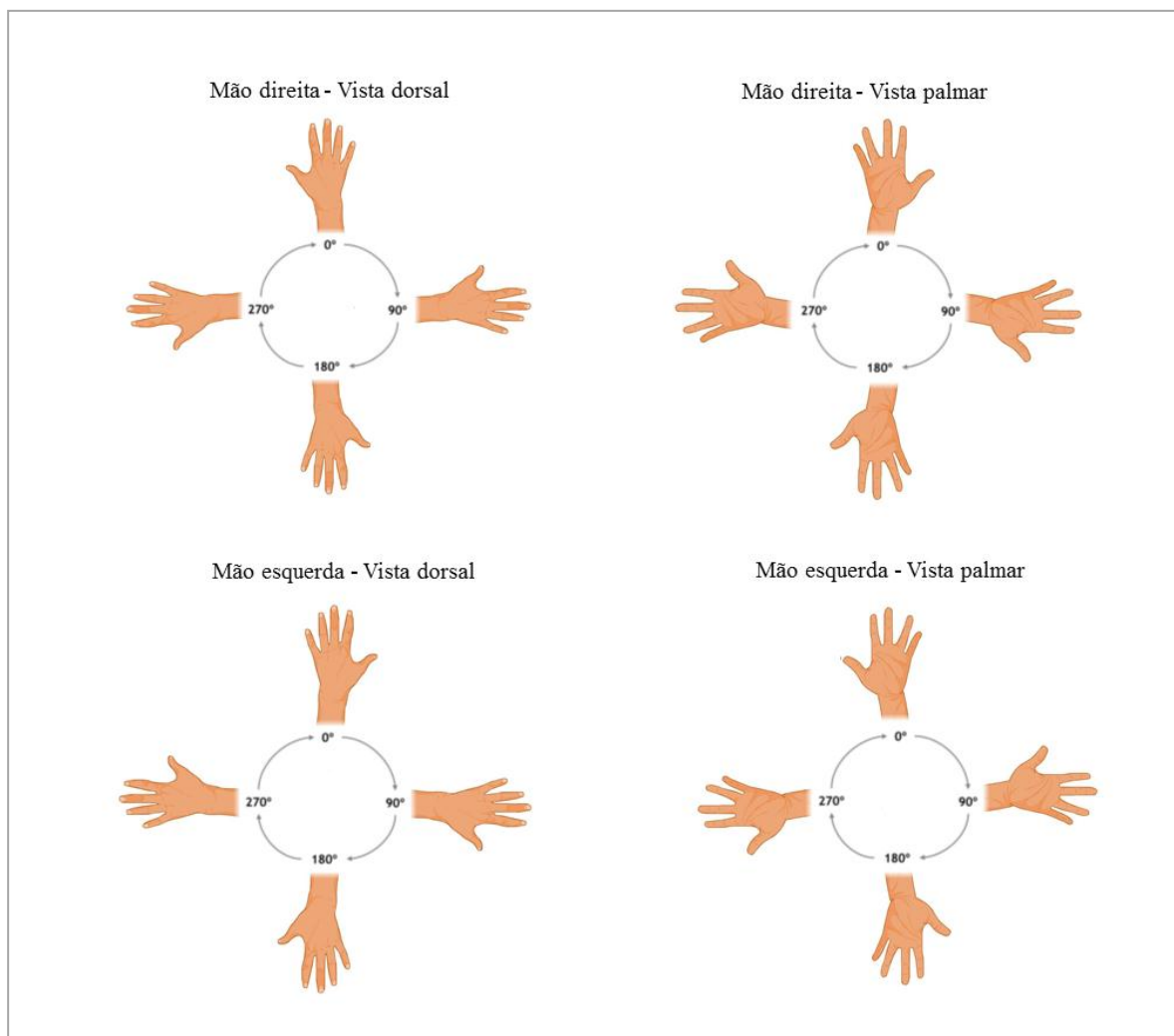


Figura 1: Os 16 estímulos apresentados na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.

*Avaliação do desempenho funcional:* O *Assisting Hand Assessment* (AHA) foi utilizado para mensuração do desempenho funcional do membro superior das crianças com PCH. Trata-se de um instrumento que descreve a eficácia com que uma criança com deficiência unilateral faz uso de sua mão afetada durante atividades bimanuais (Krumlinde-Sundholm et al., 2007). Para a aplicação do AHA, primeiramente uma sessão de jogo é gravada conduzida com brinquedos específicos do kit do teste AHA que requer a manipulação bimanual (duração de 10 a 15 minutos). Posteriormente, a pontuação é dada através de uma análise do vídeo baseado em 22 itens pré-definidos utilizando uma escala de classificação que varia de 1 a 4 pontos. A soma do escore bruto varia entre 22 (baixa capacidade) a 88 (alta capacidade) pontos. O AHA foi aplicado por um dos pesquisadores do estudo que possui capacitação para utilização do mesmo.

*Avaliação da memória de trabalho:* De acordo com Malouin et al (2004), para realização de uma tarefa de IM é necessário adquirir, reter e manipular a informação na memória de trabalho. Assim, a memória de trabalho é um pré-requisito essencial para que um indivíduo seja capaz de realizar tarefa de IM. Dessa forma, para garantir que possíveis déficits na IM não sejam associados à deficiência na memória de trabalho, o teste de Dígitos Span (de Figueiredo & do Nascimento, 2007) e Cubos de Corsi (Santos et al, 2005) foram aplicados nas crianças com PCH para avaliação dos domínios visuo-espacial, cinestésico e verbal da memória de trabalho.

#### 4.2.3 Procedimentos da tarefa de JLM

Para resolver a tarefa de JLM, os voluntários deveriam permanecer sentados em frente a um *notebook*, no qual os estímulos das mãos foram apresentados individualmente de forma pseudo-aleatória usando o *software Presentation* (versão 0.71). Todos os voluntários foram orientados a responder corretamente e o mais rápido possível se o estímulo apresentado correspondia à mão direita ou esquerda. Após julgar a lateralidade da figura da mão, os voluntários do GC deveriam efetuar sua resposta pressionando a tecla direita ou esquerda do Notebook com o dedo indicador da mão direita e esquerda respectivamente. Os participantes com PCH deveriam efetuar sua resposta utilizando os dedos indicador e médio do membro não plégico para pressionar a tecla direita ou esquerda do notebook. O experimento foi realizado em ambiente com iluminação que permitisse a adequada visualização dos estímulos e com nível de ruído que não fosse excessivo. O registro das respostas corretas (acurácia) bem como, do tempo de reação (TR) foram produzidos pelo *software Presentation* e utilizados posteriormente para análise dos dados.

#### 4.2.4 Análise estatística

Para verificar a homogeneidade da amostra em relação ao sexo entre os três grupos foi utilizado o teste Qui-quadrado. A comparação das médias de escores  $z$  dos testes de inteligência foi realizada através do Teste  $t$  de Student para amostras independentes. Uma análise inicial foi realizada para verificar se os participantes apresentariam a presença do efeito *Trade-off* entre velocidade e precisão (*Speed-accuracy trade-off*). Para tal, foi calculada a média do TR geral obtida pelos participantes na tarefa, bem como, a acurácia média e posteriormente realizada a correlação de Pearson entre TRs e precisão da tarefa de JLM. Para

cada participante, foi calculada a média do TR e precisão em cada ângulo, bem como, em rotações mediais e laterais, nas vistas palmar e dorsal e para a mão direita e esquerda. Posteriormente, foi feita a comparação das médias da acurácia e das médias dos tempos de reação (TRs) entre os grupos através da análise de variância pelo método do modelo linear geral (ANOVA). Para as variáveis nas quais a ANOVA constatou diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) entre os grupos, utilizou-se a análise post hoc de Bonferroni para comparações múltiplas. A ANOVA de medidas repetidas foi usada para examinar os efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM com relação ao TR individualmente (direção: medial comparada a lateral, vista: dorsal comparada a palmar; lateralidade: direita comparada à esquerda). Os ensaios em que os participantes produziram TR maior que três desvios-padrão acima ou abaixo da média geral foram excluídos das análises. Além disso, os estímulos com respostas incorretas também foram excluídos da análise para verificação do TR. Finalmente, foi utilizado o teste de correlação de Pearson para determinar a relação entre a habilidade de IM e as variáveis desempenho funcional, memória de trabalho e inteligência. Para interpretação dos resultados da análise de correlação, foram considerados os seguintes valores:  $r >$  entre 0,5 a 1 correlação forte, 0,30 e 0,49 moderada e 0,10 e 0,29 é fraca (Jacob, 1998). Todos os dados foram analisados usando o software Statistical Package for the Social Science (SPSS), versão 20.0, adotando como significativo um alfa menor do que 5% (valor de  $p < 0,05$ ).

#### 4.3 Resultados

A amostra apresentou-se homogênea em relação ao sexo ( $\chi^2=0,313$ ;  $p=0,855$ ) e idade ( $F[2]=2,897$ ;  $p < 0,061$ ) para os três grupos. Dos 24 voluntários com PCH, apenas um adolescente com PCHD apresentou déficit na memória de trabalho, tomando como base os valores normativos de Santos et al (2005) e De Figueiredo e Do Nascimento (2007). Não foram verificadas diferenças significativas entre os grupos PCHD e PCHE para a inteligência (Raven:  $t = 0,484$ ,  $p = 0,639$ ; Wisc IV:  $t = 0,372$ ,  $p = 0,718$ ). Os resultados mostraram que os TRs dos participantes não correlacionaram com precisão ( $r = -0,174$ ,  $p = 0,145$ ), confirmando que os participantes não apresentaram o efeito Speed-accuracy trade-off (GC:  $r = -0,218$ ;  $p=0,079$ ; PCHD:  $r = -0,278$ ,  $p=0,250$  PCHE:  $r = -0,690$ ,  $p=0,197$ ).

A seguir, os resultados foram organizados de forma a responder as questões propostas em sessão anterior, as quais até o momento não foram totalmente esclarecidas pela literatura. Inicialmente, apresentaremos as análises referentes ao desempenho geral dos participantes

hemiplégicos e controles no que se referem à acurácia, TR e efeito das restrições biomecânicas da tarefa de JLM. Acreditamos que esses resultados serão capazes de esclarecer se de fato a IM está preservada em crianças com PCH. Além disso, verificaremos se a lateralidade da hemiplegia pode ser fator determinante para a capacidade de realizar tarefa de IM. Posteriormente, analisaremos os resultados das análises de correlação, a fim de verificar se a IM possui associação com as variáveis desempenho funcional, memória de trabalho e inteligência.

#### 4.3.1 Acurácia da tarefa de JLM

No que se refere à análise da taxa de acertos da tarefa de JLM, encontramos um efeito principal de grupo que refletiu um maior número de erros para os grupos com PCH. Os resultados da ANOVA mostraram diferenças significativas em quatro dos 16 estímulos da tarefa ( $p < 0,05$ ). Para os estímulos da mão direita na vista dorsal, a ANOVA revelou diferenças significativas apenas para o ângulo de  $270^\circ$  ( $F[2]=35,09$ ;  $p < 0,001$ ). Comparações com post hoc Bonferroni mostraram maior número de acertos dos participantes do GC em comparação ao grupo PCHD ( $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,447$ ;  $d = 1,77$ ) e PCHE ( $p < 0,007$ ,  $\eta^2 = 0,447$ ;  $d = 1,04$ ). Nas comparações entre as médias de acertos da mão direita na vista palmar, a ANOVA apontou diferenças significativas para o estímulo orientado a  $180^\circ$  ( $F[2]=2,77$ ;  $p < 0,05$ ). Em posterior análise com post hoc Bonferroni, verificamos pior desempenho do grupo PCHD quando comparado ao GC ( $p < 0,050$ ,  $\eta^2 = 0,601$ ;  $d = 0,60$ ). Já para os estímulos da mão esquerda, na vista dorsal, diferenças estatisticamente significativa foram encontradas em dois dos quatro ângulos rotacionais da tarefa, sendo  $180^\circ$  ( $F[2] = 7,69$ ;  $p < 0,001$ ) e  $270^\circ$  ( $F[2]=13,43$ ;  $p < 0,001$ ). O teste post hoc Bonferroni revelou melhor acurácia do GC em comparação ao grupo PCHD tanto a  $180^\circ$  ( $p < 0,001$ ;  $\eta^2 = 0,150$ ;  $d = 0,95$ ) quanto à  $270^\circ$  ( $p < 0,001$ ,  $\eta^2 = 0,236$ ;  $d = 1,27$ ). Para os estímulos da mão esquerda na vista palmar, as diferenças na acurácia média entre os grupos não atingiu significância estatística ( $p > 0,05$ ). As comparações entre os grupos hemiplégicos (PCHD e PCHE) também não resultaram em diferenças significativas ( $p > 0,05$ ). Os resultados referentes à acurácia dos grupos na tarefa de JLM são apresentados na Figura 2.



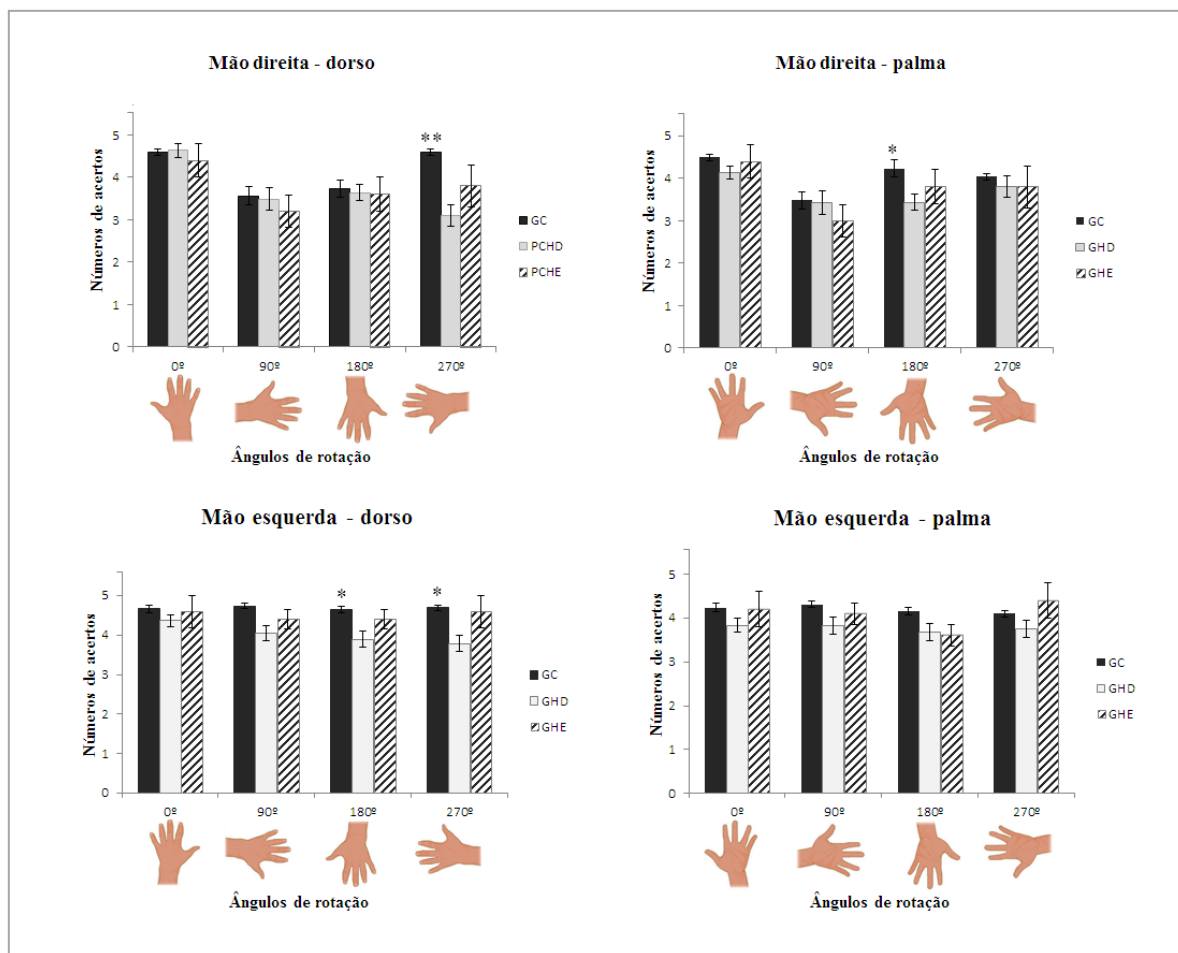


Figura 2: Análise gráfica da comparação da acurácia média dos grupos na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.

(\*)  $p < 0,05$ , com GC significativamente mais preciso que o grupo PCHD.

(\*\*)  $p < 0,05$ , com GC significativamente mais preciso que o grupo PCHD e PCHE.

#### 4.3.2 Tempo de reação da tarefa de JLM

Em geral, os resultados mostram um padrão similar de tempo de resposta para os três grupos, com um aumento no TR em função do ângulo de rotação. Ambos os grupos com PCH (PCHD e PCHE) apresentaram maior TR quando comparado ao GC. No entanto, as diferenças não atingiram significância estatística ( $p > 0,05$ ). Também não foram verificadas diferenças significativas entre o TR do grupo PCHD quando comparado ao grupo PCHE ( $p > 0,05$ ). A figura 3 apresenta o TR médio das respostas corretas dos grupos para estímulos das mãos direita e esquerda, nas vistas dorsal e palmar, para os 4 ângulos de rotação.

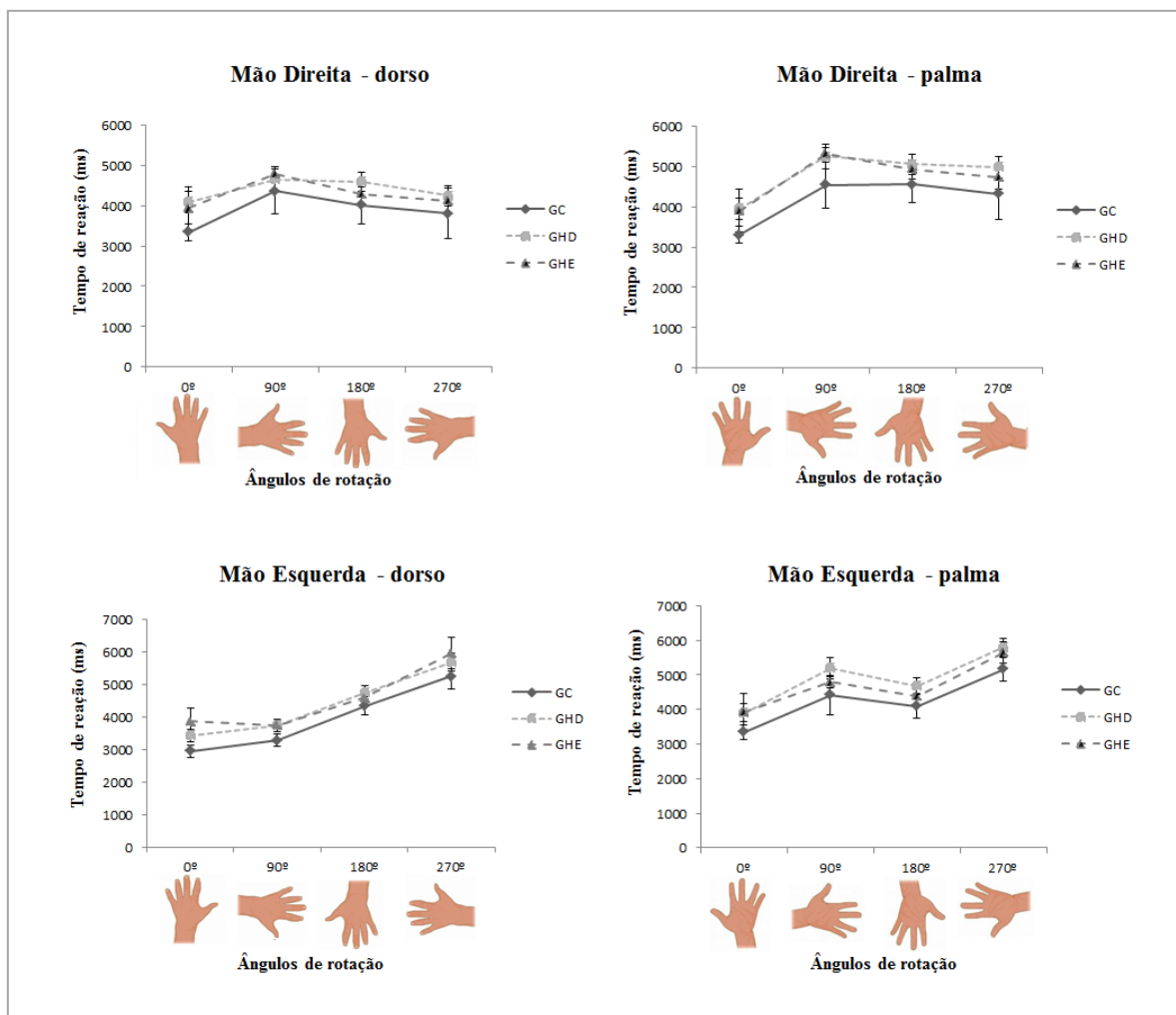


Figura 3: Análise gráfica da comparação do TR médio dos grupos na tarefa de julgamento da lateralidade das mãos.

#### 4.3.3 Efeitos das restrições biomecânicas da tarefa de JLM

A ANOVA de medidas repetidas identificou um efeito significativo para a variável ângulo de rotação [ $F(3)=4,49$ ;  $p<0,004$ ;  $\eta^2=0,179$ ], com TR mais rápido para reconhecer os estímulos orientados medialmente. Comparações post hoc bonferroni sobre a análise das médias de TR para o julgamento dos estímulos em orientações mediais e laterais mostraram que todos os participantes foram significativamente mais rápidos para julgar estímulos em rotações mediais quando comparado a rotações laterais, tanto na vista dorsal (GC:  $p<0,001$ ,  $\eta^2=0,281$ ;  $d=-0,60$ ; grupo PCHD  $p<0,009$ ,  $\eta^2=0,323$ ;  $d=-0,57$  e grupo PCHE  $p<0,021$ ,  $\eta^2=0,775$ ;  $d=-0,87$ ), quanto na vista palmar (GC:  $p<0,004$ ,  $\eta^2=0,281$ ;  $d=-1,21$ ; grupo PCHD  $p<0,003$ ,  $\eta^2=0,323$ ;  $d=-0,72$  e grupo PCHE  $p<0,021$ ,  $\eta^2=0,775$ ;  $d=-1,40$ ). Para a vista do estímulo (dorsal comparada a palmar) e lateralidade (direita comparada à esquerda) as

diferenças entre as médias de TR não atingiram significância estatística ( $p > 0,05$ ), contudo, os participantes apresentaram uma vantagem para julgar os estímulos na vista dorsal e mão direita. Os resultados referentes às comparações das médias dos TRs dos ângulos de rotação medial comparada a lateral são expostos na Figura 4, já a Figura 5 e 6 mostram os resultados comparativos das médias do TR gasto pelos participantes para julgar os estímulos na vista dorsal comparada a vista palmar e mão direita comparada a esquerda respectivamente.

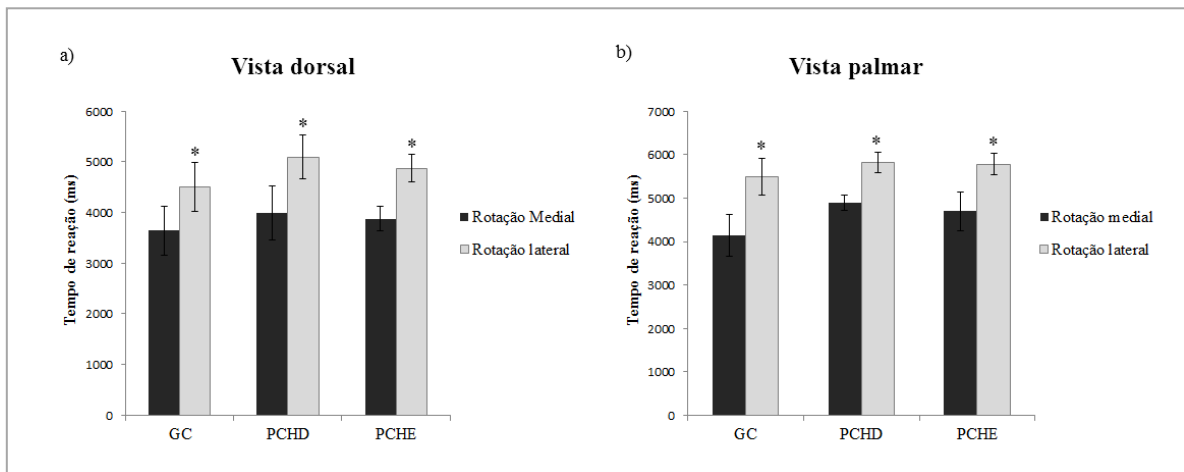


Figura 4: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos apresentados em rotações mediais e laterais, nas vistas dorsal (a) e palmar (b). (\*)  $p < 0,05$ , TR menor para julgar os estímulos em orientações mediais.

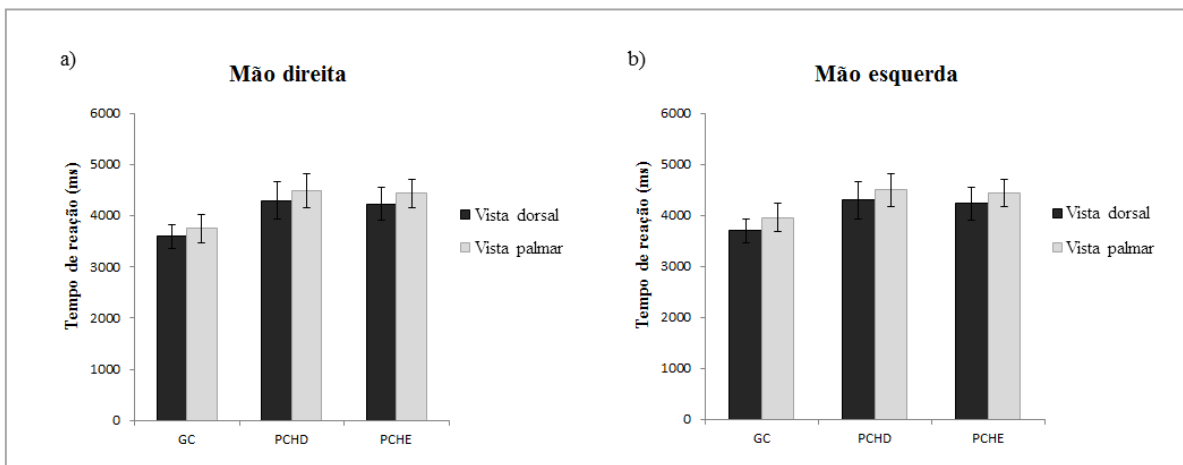


Figura 5: Representação gráfica da comparação das médias do TR dos grupos nos estímulos da vista dorsal comparada a palmar, para os estímulos da mão direita (a) e esquerda (b).

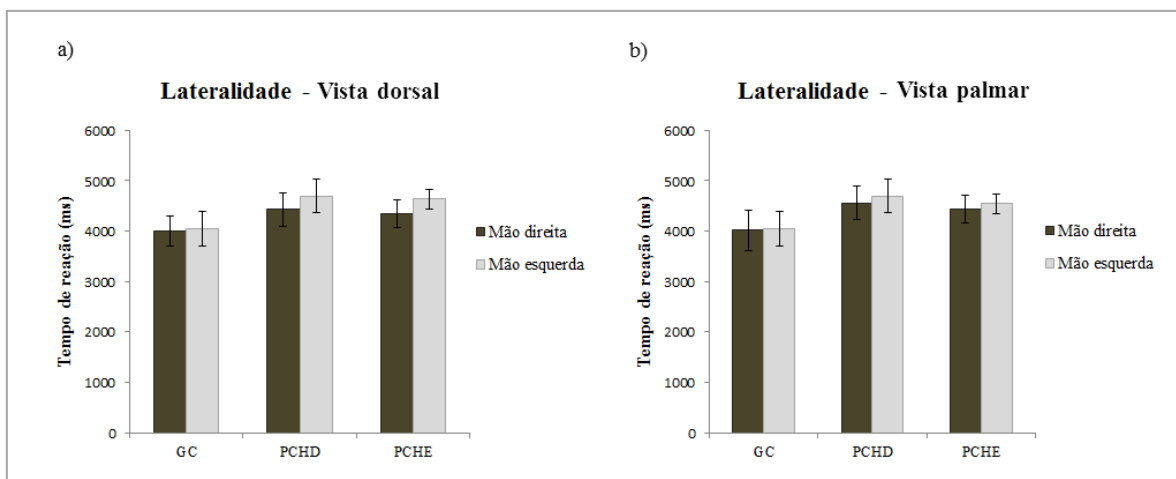


Figura 6: Comparação das médias dos TRs dos grupos nos estímulos da mão direita e esquerda, nas vista dorsal (a) e palmar (b).

#### 4.3.4 IM e Desempenho funcional

Para investigar a associação entre o desempenho funcional do membro superior das crianças com PCH e a capacidade de realizar tarefa de IM, foi calculada a correlação de Pearson utilizando a pontuação média obtida no AHA e o desempenho médio na tarefa de JLM. Os resultados obtidos mostram que quanto maior a capacidade funcional maior será a acurácia ( $r=0,82$ ,  $p<0,001$ ) e quanto menor o TR para o julgamento dos estímulos da tarefa melhor a capacidade de realizar a IM ( $r=0,75$ ,  $p<0,001$ ).

#### 4.3.5 IM e Memória de trabalho

Os resultados referentes à associação entre a IM e a memória de trabalho não mostraram correlações significativas entre as variáveis, tanto no teste Cubos de corsi (Acurácia:  $r=-0,099$ ,  $p=0,646$ ; TR:  $r=-0,082$ ,  $p=0,531$ ) quanto no Dígito Span (Acurácia:  $r = -0,118$ ,  $p=0,583$ ; TR:  $r=-0,079$ ,  $p=0,796$ ).

#### 4.3.6 IM e inteligência

As análises não mostraram correlações significativas entre o nível de inteligência e o número de acertos da tarefa de JLM, o que demonstra que a capacidade de IM não pode ser influenciada pelo nível de inteligência da criança com PCH. A acurácia de todos os participantes com PCH não foi significativamente correlacionada com a inteligência (Raven:

$r=0,443$ ,  $p=0,149$ ; Wisc IV:  $r=0,385$ ,  $p=0,217$ ). Dados semelhantes foram encontrados ao analisarmos a correlação entre o TR dos participantes na tarefa de JLM com as médias de escore z dos testes de inteligência (Raven  $r=-0,278$ ,  $p=0,250$ ; Wisc IV:  $r=-0,690$ ;  $p=0,197$ ). Em função destes resultados, acreditamos que o TR e a acurácia obtidos pelos participantes com PCH na tarefa de JLM não podem ser atribuídos a deficiências no nível de inteligência.

#### 4.4 Discussão

No presente estudo, foi utilizada a tarefa de JLM para explorar a capacidade de IM de crianças e adolescentes com PCH. Os resultados levantaram algumas questões interessantes e forneceram informações capazes de responder as lacunas que persistiam na literatura a respeito da capacidade de realizar tarefa de IM em indivíduos com PCH. Primeiramente, os dados referentes ao desempenho geral no TR e na acurácia da tarefa de JLM sugerem que as crianças com PCH foram capazes de realizar tarefa de IM, porém com certo grau de comprometimento. Tal pressuposto baseia-se na constatação de um padrão de TR inferior ao do GC, porém sem diferenças significativas, além disso, a acurácia diferiu de forma significativa em quatro dos 16 estímulos da tarefa. Os resultados apontaram ainda a presença do efeito das restrições biomecânicas da tarefa de JLM para todos os grupos. Por fim, foi encontrada ainda uma correlação forte entre a tarefa de IM e o desempenho funcional das crianças, sugerindo que a IM e execução motora são processos intimamente relacionados. Por outro lado, em desacordo a nossa hipótese, a IM não apresentou associação com a habilidade de memória de trabalho. Por outro lado, em apoio a nossa hipótese, a IM não correlacionou com o nível de inteligência. Os principais resultados encontrados neste estudo serão discutidos a seguir.

Analisando especificamente os resultados do TR geral na tarefa de JLM, verificamos que os grupos hemiplégicos foram geralmente mais lentos do que o GC, no entanto, as diferenças encontradas não atingiram significância estatística. Assim, a hipótese de que as respostas dos participantes com PCH seriam significativamente mais lentas não foi apoiada. Esses resultados estão em desacordo com os encontrados por Steenbergen, Nimwegen e Crajé (2007), para os quais o TR das crianças com PCH foi estatisticamente mais lento quando comparado ao GC. Todavia, em estudo mais recente conduzido por Williams et al (2011), assim como no presente estudo, os autores também verificaram que o TR entre os participantes com PCH e GC não diferiu de forma significativa. Com base nos resultados de Williams et al (2011), somados aos achados encontrados no presente estudo, sugerimos que a

capacidade de se envolver em movimentos imaginados das crianças com PCH está alterada, contudo, eles são capazes de resolver tarefas de IM. Tal pressuposto é suportado pelo estudo de Spruijt et al (2013), no qual ficou constatado que crianças com PCH foram capazes de se engajar em tarefas que exigiam o uso de IM.

Acreditávamos que a precisão na tarefa de JLM seria reduzida em ambos os grupos hemiplegia quando comparado ao GC. Nossos resultados apoiam parcialmente essa hipótese ao evidenciar diferenças significativas em quatro dos 16 estímulos da tarefa. Esse foi especialmente o caso dos participantes do grupo PCHD que foram significativamente menos precisos em quatro dos 16 estímulos da tarefa, enquanto o grupo PCHE foi menos preciso em apenas um estímulo. A esse respeito, o estudo de Mutsaerts, Steenbergen e Bekkering (2007) também encontrou maior número de erros dos participantes com PCHD. Como justificativa esses autores sugerem que esse achado se deve ao fenômeno da especialização hemisférica. Indivíduos com PCHD, ou seja, lesões no hemisfério esquerdo, são mais susceptíveis a apresentar baixo desempenho em tarefas que exigem o uso de IM tendo em vista uma maior especialização do hemisfério esquerdo por funções relacionadas ao planejamento e execução motora. Tal pressuposto é suportado por estudo de neuroimagem conduzido por de Lange, Helmich e Toni (2006). Nesse estudo, os autores fizeram o registro da ativação cerebral por meio da ressonância magnética funcional simultaneamente a aplicação da tarefa de JLM em indivíduos saudáveis. Os resultados apontaram que o hemisfério direito foi preferencialmente ativado para os estímulos da mão esquerda, enquanto o hemisfério esquerdo estava ativo para os estímulos de ambas as mãos, esquerda e direita. Em conclusão, de Lange, Helmich e Toni (2006) sugerem que a simulação mental, assim como os demais processos motores, apresenta certo grau de lateralização para o hemisfério esquerdo.

Nossa principal descoberta foi que todos os três grupos mostraram uma relação típica e significativa entre o TR e o ângulo de rotação dos estímulos. Em outras palavras, todos os participantes apresentaram a presença do efeito das restrições biomecânicas da tarefa de JLM. Tal achado foi caracterizado por maior TR para os ângulos de rotação nos quais os movimentos reais são mais difíceis de serem realizados. Assim, os participantes apresentaram menor TR para julgar os estímulos orientados medialmente quando comparado aos laterais. A presença desse efeito suporta o uso de IM por todos os participantes desse estudo. É importante ressaltar que embora os grupos hemiplégicos tenham apresentado o efeito biomecânico da tarefa de JLM, o TR gasto para reconhecer os estímulos orientados medialmente e lateralmente foi superior ao do GC. Estes achados nos levam a sugerir que os

participantes com PCH têm um comprometimento na IM, mas esse comprometimento não é suficiente para impedir o uso da IM, tal como evidenciado pela presença do efeito biomecânico da tarefa. Esse resultado é consistente com estudos anteriores que também encontraram capacidade de realizar tarefa de IM em indivíduos com PCH. Steenbergen, Nimwegen e Crajé (2007) encontraram relações lineares entre o TR e ângulos de rotação dos estímulos da tarefa de JLM em crianças com PCH quando comparadas a crianças sem lesão neurológica. Resultados semelhantes foram reportados por Williams et al (2011). Esses autores usaram a mesma forma de estímulos em crianças com PCH comparando seu desempenho ao de crianças neurologicamente saudáveis. Após análise dos resultados, foi constatado que IM foi usada tanto pelas crianças saudáveis quanto pelas crianças com hemiplegia, já que ambas apresentaram as limitações biomecânicas esperadas para a tarefa de IM empregada.

Tomados em conjunto, os resultados do TR e precisão da tarefa de JLM indicam que ambos os hemiplégicos foram um pouco mais lentos para julgar os estímulos do que o GC (mas não de forma significativa), além disso, por vezes, foram menos precisos. Contudo, não significa que eles não são capazes de realizar tarefa de IM, apenas a velocidade e precisão com que eles fazem isso é que pode variar, podendo ser influenciada tanto pelo lado da hemiplegia (Mutsaerts, Steenbergen & Bekkering, 2007) quanto pelo nível de função da criança (Williams et al, 2011). Essa suposição pode ser confirmada a partir da observação da presença do efeito das restrições biomecânicas da tarefa de JLM nos participantes com PCH. De acordo com Parsons (1994), para avaliar se de fato os participantes estavam envolvidos em IM para resolver a tarefa de JLM, deve-se considerar a análise dos efeitos das restrições biomecânicas. Dessa forma, a combinação da pequena quantidade de erros, bem como, tempos de resposta similares entre os grupos, associada à presença do efeito das restrições biomecânicas sugerem que os participantes com PCH foram capazes de realizar a tarefa de IM empregada no presente estudo. Como tal, estes resultados estão de acordo com algumas linhas de evidências (Spruijt et al 2013; Williams et al, 2011) que apoiam a hipótese de que os indivíduos com PCH são capazes de se envolver em movimentos imaginados.

Embora o desempenho dos participantes do GC na tarefa de JLM tenha sido similar ao dos grupos hemiplégicos, não podemos ignorar a pequena vantagem apresentada pelo GC. É notório que indivíduos com PCH também podem apresentar déficits perceptuais e na representação corporal (Fontes, Moura & Haase, 2014). De acordo com Kosslyn (1998), alterações perceptivas e de representação do corpo podem influenciar negativamente a

habilidade de imaginação, já que para realizar IM de determinada tarefa o indivíduo deve ser capaz de reconhecer partes de seu corpo, bem como sua localização no corpo e no espaço. Um estudo conduzido por Courbois et al (2004), em adolescentes com paralisia cerebral do tipo Diplégica, apoia essa hipótese ao sugerir que a presença ou ausência de déficits na habilidade de IM depende da existência de déficits perceptuais associados. Segundo esses autores, a PCH por si só não gera déficits na capacidade de realizar tarefas de IM, tal habilidade só está alterada na presença de déficits associados, tais como as alterações perceptivas. No presente estudo, não foram aplicadas tarefas que mensurassem as funções perceptivas ou de representação do corpo, o que constitui uma limitação dessa pesquisa.

Os resultados dos estudos sobre a capacidade de realizar tarefa de IM na hemiplegia adulta suportam os achados do presente estudo. Existe crescente evidência para intacta IM em adultos pós-AVC. Johnson-Frey (2004) conduziu quatro experimentos para examinar os efeitos da hemiplegia crônica na capacidade de realizar tarefa de IM. Johnson-Frey mostrou que os pacientes hemiplégicos eram tão precisos quanto os controles na tarefa de JLM. Malouin, Richards e Durand (2012), utilizando a cronometragem das ações imaginadas e executadas em hemiplégicos após-AVC reportaram resultados semelhantes, sugerindo IM preservada nessa população.

Os dois paradigmas mais utilizados para estudar a IM são a tarefa de LJM e a tarefa de cronometragem das ações imaginadas e executadas. Os resultados de estudos utilizando essas tarefas são divergentes, o que nos leva a sugerir que a verdadeira capacidade de realizar tarefa de IM na PCH pode depender do tipo de tarefa a ser utilizada. Além disso, devemos considerar que os indivíduos acometidos pela PCH constituem um grupo heterogêneo, com deficiências neuromotoras variadas, que são dependentes tanto da localização quanto extensão da lesão neurológica. Dessa forma, considerando que o treinamento de IM seja de fato utilizado na reabilitação neurológica, pode ser importante a criança passar previamente por uma avaliação individualizada da capacidade de realizar tarefa de IM, a fim de assegurar a efetividade dessa técnica. Acreditamos que, mesmo não apresentando a IM totalmente intacta, crianças com PCH não podem ser excluídas de um programa de reabilitação constituído por IM. Propomos que tal habilidade pode ser treinada, tal como evidenciado na hemiplegia adulta, em estudo conduzido por Silva et al (2012). Esses autores propuseram um programa de imaginação para treinar a capacidade de imaginação de indivíduos pós-AVC. Sete sujeitos acometidos por AVC realizaram quatro sessões de pré-condicionamento e seis de prática



específica de imaginação. Os resultados apontaram uma melhora na capacidade de imaginação no domínio cinestésico, sugerindo que a habilidade de IM pode ser melhorada.

Analisando os resultados do TR obtido pelos grupos para julgar os estímulos da vista dorsal comparativamente aos estímulos na vista palmar, observou-se uma preferência dos participantes para reconhecer os estímulos apresentados da vista dorsal. Estes achados nos levam a sugerir que a postura da mão pode afetar o desempenho dos participantes durante a resolução da tarefa de JLM. Coerente com isso, Parsons (1994), criador da tarefa de JLM, acredita que os indivíduos julgam a lateralidade da mão simulando mentalmente o movimento da própria mão a partir da posição atual e não de uma postura fixa no cérebro. Essa premissa é suportada pelo estudo de Ionta et al (2007), que examinaram se as alterações na postura das mãos influenciam o desempenho na tarefa de JLM. Vinte indivíduos saudáveis foram convidados a julgar a lateralidade das mãos em duas condições posturais diferentes. Na primeira, os voluntários mantinham as mãos sobre os joelhos, na segunda, as mãos foram mantidas em uma postura incomum, com os dedos entrelaçados e atrás das costas. Os resultados mostram que o julgamento dos estímulos foi influenciado por mudanças na postura mãos, com menor TR para a postura com as mãos sobre os joelhos. Com base nas observações de Ionta et al (2007), o menor TR para julgar os estímulos na vista dorsal observado no presente estudo pode ser explicado pelo fato dos participantes terem permanecido com as mãos nessa postura durante a tarefa. Uma segunda explicação para esse achado seria uma predominância da informação visual sobre a capacidade proprioceptiva. Contudo, essa hipótese foi descartada após observarmos os resultados encontrados no estudo de Shenton, Schwoebel e Coslett (2004). Esses autores desenharam um estudo para explorar os papéis de visão e propriocepção durante a tarefa de JLM. Para tal, os sujeitos realizaram dois blocos de julgamento: um com as mãos na postura dorsal e um segundo com as mãos na postura palmar. Os autores descobriram que a entrada proprioceptiva teve uma influência significativa no TR enquanto que a postura visualmente perceptível não.

Levando em consideração o fato das crianças com PCH apresentarem comprometimento unilateral, achamos pertinente analisar o TR gasto pelos participantes para reconhecer os estímulos da mão direita comparativamente aos estímulos da mão esquerda. Tal análise foi realizada a fim de verificar se os participantes com PCH teriam uma vantagem para julgar os estímulos da mão não afetada. Esperávamos que as crianças com PCHE julgassem mais rapidamente os estímulos da mão direita, assim como, as crianças com PCHD apresentassem uma vantagem para reconhecer os estímulos da mão esquerda. As análises

mostraram resultados intrigantes ao revelar que essa hipótese só foi apoiada para os participantes com PCHE, porém, sem diferenças significativas. Resultados semelhantes foram reportados por Mutsaerts, Steenbergen e Bekkering (2007), que verificaram que os participantes com PCHE mostraram vantagem ao julgar os estímulos da sua mão menos afetada, o que não aconteceu para os participantes com PCHD. Para Mutsaerts, Steenbergen e Bekkering (2007), o hemisfério esquerdo apresenta maior especialização pelos processos ligados ao sistema motor, e, quando esse hemisfério é lesionado, as crianças podem ter dificuldades com as funções motoras, podendo apresentar déficits no planejamento motor e na IM. Em desacordo a esses achados, Williams et al (2011) não encontraram diferenças ao comparar os resultados das crianças com PCHE e PCHD. Esses autores acreditam que os processos motores podem ser menos lateralizados em crianças com PCH devido à reorganização cortical e a neuroplasticidade. Contudo, ainda não está clara a forma como esses processos afetam o sistema motor no cérebro. Evidências mostram que quando as projeções corticais se reorganizam para o lado ipsilateral à lesão, as projeções aferentes não necessariamente reorganizam no mesmo padrão (Thickbroom et al, 2001). Dessa forma, as crianças com PCHD podem sim, serem capazes de desempenhar tarefas que exigem a utilização de IM.

Em trabalho desenvolvido anteriormente, Williams et al (2011) sugeriram uma associação positiva entre a IM e habilidades motoras do membro superior de crianças com PCH. Usando a mesma tarefa para avaliação da IM, ou seja, a tarefa de JLM, os autores correlacionaram a acurácia média na tarefa com a pontuação obtida pelos participantes em questionário de avaliação do desempenho funcional. Williams et al (2011) verificaram que a IM pode ser influenciada pelo nível de função dos participantes. No entanto, os autores tiveram cautela ao tirar conclusões a respeito dessa análise tendo em vista que a medida de função utilizada no estudo tratava-se de um questionário subjetivo aplicado aos pais. No presente estudo, avaliamos correlação entre os domínios IM e desempenho funcional do membro superior utilizando como medida de função um instrumento padronizado, objetivo e válido. Como resultado, verificamos que a IM de fato apresenta uma associação com o desempenho funcional do membro superior das crianças, suportando os resultados relatados por Williams et al (2011). Essa relação entre a IM e desempenho funcional não está presente apenas nas crianças com PCH, em estudo realizado com crianças saudáveis, Butson et al (2014) após correlacionar a IM com habilidades motoras, verificaram que as crianças com melhor desempenho motor apresentaram melhor performance na tarefa de IM. Tais achados

reforçam a hipótese de que a IM está intimamente relacionada com as representações motoras envolvidas no planejamento e na execução de movimentos.

Um resultado intrigante encontrado no presente estudo diz respeito à ausência de relação entre a IM e a memória de trabalho. Como tal habilidade é pré-requisito para a realização dos movimentos imaginados, esperávamos encontrar associações positivas, o que não aconteceu. Estabelecemos essa hipótese com base na premissa de que, ao realizar IM, é necessário adquirir, reter e manipular a informação na memória de trabalho (Malouin et al, 2004). Essa habilidade preservada é importante, pois permite que a informação seja recuperada durante o processo de imaginação. Embora não existam estudos avaliando a associação entre IM e memória de trabalho na hemiplegia infantil, na hemiplegia adulta as pesquisas já estão disponíveis. O estudo de Malouin et al (2004), além de testar o uso de IM na reabilitação das funções motoras em indivíduos com AVC, os autores também avaliaram a associação entre as variáveis IM e memória de trabalho. Diferente dos dados obtidos em nosso estudo, Malouin et al. encontraram associações positivas. Os autores reportaram ainda que os indivíduos com melhor capacidade de memória de trabalho foram os que apresentaram maiores ganhos após o programa de intervenção por IM. Pesquisas que investiguem melhor a relação entre essas variáveis em crianças com PCH ainda são necessárias, dada à pequena amostra utilizada no presente estudo.

#### 4.5 Conclusão

Os indivíduos acometidos pela PCH apresentam deficiências neuromotoras variadas, constituindo um grupo heterogêneo, apesar disso, consideramos os participantes desse estudo como um grupo, e como tal, verificamos que eles são capazes de realizar tarefa de IM. Contudo, essa habilidade não é equivalente a de crianças com desenvolvimento típico. Ressaltamos ainda, que a tarefa empregada nesse estudo para avaliação da IM foi melhor executada pelas crianças com PCHE. Esse achado foi atribuído ao fenômeno de especialização hemisférica. Quando o hemisfério esquerdo é lesionado (PCHD), as crianças podem apresentar dificuldades com as funções motoras, tais como planejamento motor e a IM. Isso se deve ao fato do hemisfério esquerdo ser mais especializado nas funções ligadas ao sistema motor. No entanto, devemos levar em consideração que o grupo de crianças com PCHE que participaram deste estudo foi relativamente pequeno, o que constitui uma limitação do estudo. Considerando a correlação encontrada entre a IM e desempenho funcional do membro superior, podemos inferir ainda que a lateralização das funções motoras isoladamente

não determinam a capacidade de realizar tarefa de IM, tal habilidade pode ser influenciada ainda pelo nível de função do membro superior apresentado pela criança. Por fim, verificamos que o desempenho na capacidade de IM dos indivíduos desse estudo não estava relacionado à habilidade de memória de trabalho, nem tão pouco com o nível de inteligência.

#### 4.6 Implicações práticas

Como aplicação prática, os resultados desse estudo contribuem para uma maior compreensão da capacidade de IM em crianças com PCH. Estabelece ainda um importante ponto de partida para os pesquisadores interessados em avaliar a efetividade de programas de intervenção utilizando o treinamento de IM para melhorar a função do membro superior nessa população. A IM leva ao acionamento de representações sensório-motoras envolvidas no planejamento e execução motora, podendo ser útil na reabilitação de pacientes neurológicos. Como a IM e planejamento motor compartilham dos mesmos substratos neurais, a reabilitação por IM pode reduzir os déficits no planejamento motor observados nessa população, como sugerido por Steenbergen et al (2009). Embora existam crescente evidências para a efetividade dessa abordagem em indivíduos após-AVC, ainda aguardam-se experimentos em crianças com PCH. Como a capacidade de realizar tarefa de IM na PCH precisava ser estabelecida em primeira instância, os resultados desse estudo constitui um passo importante.

#### 4.7 Referências

- Alves, I. C. B., Duarte, J. L. M., & Burgemeister, B. B. (1993). Padronização Brasileira da Escala de Maturidade Mental Colúmbia. *Burgemeister, BB; Burgemeister, LH & Lorge, I., Escala de Maturidade Mental Colúmbia: manual para aplicação e interpretação*, 24-32.
- Bax, M., Goldstein, M., Rosenbaum, P., Leviton, A., Paneth, N., Dan, B., & Damiano, D. (2005). Proposed definition and classification of cerebral palsy, April 2005. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 47(08), 571-576.
- Butson, M. L., Hyde, C., Steenbergen, B., & Williams, J. (2014). Assessing motor imagery using the hand rotation task: Does performance change across childhood?. *Human movement science*, 35, 50-65.

- Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Motor imagery development in primary school children. *Developmental Neuropsychology*, *34*(1), 103-121.
- Courbois, Y., Coello, Y., & Bouchart, I. (2004). Mental imagery abilities in adolescents with spastic diplegic cerebral palsy. *Journal of Intellectual and Developmental Disability*, *29*(3), 226-238.
- Crajé, C., van Elk, M., Beeren, M., van Schie, H. T., Bekkering, H., & Steenbergen, B. (2010). Compromised motor planning and motor imagery in right hemiparetic cerebral palsy. *Research in developmental disabilities*, *31*(6), 1313-1322.
- da Silva, L. R. V., Rodacki, A. L. F., Góes, S. M., Kuczynski, K. M., Coelho, R. W., & Stefanello, J. M. F. (2012). Treinabilidade da capacidade de imaginação em indivíduos pós-acidente vascular encefálico. *Rev. educ. fis*, *23*(3), 389-398.
- De Figueiredo, V. L., & Do Nascimento, E. (2007). Desempenhos nas duas tarefas do subteste dígitos do WISC-III e do WAIS-III. *Psicol Teor Pesqu*, *23*, 313-8.
- de Lange, F. P., Helmich, R. C., & Toni, I. (2006). Posture influences motor imagery: an fMRI study. *Neuroimage*, *33*(2), 609-617.
- Fadiga, L., Buccino, G., Craighero, L., Fogassi, L., Gallese, V., & Pavesi, G. (1998). Corticospinal excitability is specifically modulated by motor imagery: a magnetic stimulation study. *Neuropsychologia*, *37*(2), 147-158.
- Fontes, P. L., Moura, R., & Haase, V. G. (2014). Evaluation of body representation in children with hemiplegic cerebral palsy: Toward the development of a neuropsychological test battery. *Psychology & Neuroscience*, *7*(2), 139.
- Funk, M., Brugger, P., & Wilkening, F. (2005). Motor processes in children's imagery: The case of mental rotation of hands. *Developmental Science*, *8*(5), 402-408.
- Gordon, A. M., Charles, J., & Steenbergen, B. (2006). Fingertip force planning during grasp is disrupted by impaired sensorimotor integration in children with hemiplegic cerebral palsy. *Pediatric research*, *60*(5), 587-591.
- Ionta, S., Fourkas, A. D., Fiorio, M., & Aglioti, S. M. (2007). The influence of hands posture on mental rotation of hands and feet. *Experimental Brain Research*, *183*(1), 1-7.
- Jeannerod, M. (1994). Motor representations and reality. *Behavioral and Brain sciences*, *17*(02), 229-245.

- Johnson, S. H. (2000). Imagining the impossible: intact motor representations in hemiplegics. *Neuroreport*, *11*(4), 729-732.
- Johnson-Frey, S. H. (2004). Stimulation through simulation? Motor imagery and functional reorganization in hemiplegic stroke patients. *Brain and cognition*, *55*(2), 328-331.
- Jongsma, M. L., Baas, C. M., Sangen, A. F., Aarts, P., Lubbe, R. H., Meulenbroek, R. G., & Steenbergen, B. (2015). Children with unilateral cerebral palsy show diminished implicit motor imagery with the affected hand. *Developmental Medicine & Child Neurology*.
- Kosslyn, S. M., Digirolamo, G. J., Thompson, W. L., & Alpert, N. M. (1998). Mental rotation of objects versus hands: neural mechanisms revealed by positron emission tomography. *Psychophysiology*, *35*(02), 151-161.
- Krumlinde-Sundholm, L., Holmefur, M., Kottorp, A., & Eliasson, A. C. (2007). The Assisting Hand Assessment: current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change. *Developmental medicine and child neurology*, *49*(4), 259.
- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2012). Slowing of motor imagery after a right hemispheric stroke. *Stroke research and treatment*, 2012.
- Malouin, F., Belleville, S., Richards, C. L., Desrosiers, J., & Doyon, J. (2004). Working memory and mental practice outcomes after stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, *85*(2), 177-183.
- Mutsaerts, M., Steenbergen, B., & Bekkering, H. (2007). Impaired motor imagery in right hemiparetic cerebral palsy. *Neuropsychologia*, *45*(4), 853-859.
- Mutsaerts, M., Steenbergen, B., & Bekkering, H. (2006). Anticipatory planning deficits and task context effects in hemiparetic cerebral palsy. *Experimental Brain Research*, *172*(2), 151-162.
- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S., & Johnston, M. V. (2001). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical rehabilitation*, *15*(3), 233-240.
- Parsons, L. M. (1994). Temporal and kinematic properties of motor behavior reflected in mentally simulated action. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *20*(4), 709.
- Santos, F. H., Mello, C. B., Bueno, O. F. A., & Dellatolas, G. (2005). CROSS-CULTURAL DIFFERENCES FOR THREE VISUAL MEMORY TASKS IN BRAZILIAN CHILDREN 1, 2. Perceptual and motor skills, *101*(2), 421-433.

- Shepard, R. N., & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three-dimensional objects.
- Shenton, J. T., Schwoebel, J., & Coslett, H. B. (2004). Mental motor imagery and the body schema: evidence for proprioceptive dominance. *Neuroscience letters*, *370*(1), 19-24.
- Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Cognitive Neuroscience, Journal of*, *13*(7), 910-919.
- Spruijt, S., Jouen, F., Molina, M., Kudlinski, C., Guilbert, J., & Steenbergen, B. (2013). Assessment of motor imagery in cerebral palsy via mental chronometry: the c
- Steenbergen, B., Craje, C., Nilsen, D. M., & Gordon, A. M. (2009). Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *51*(9), 690-696.
- Steenbergen, B., van Nimwegen, M., & Crajé, C. (2007). Solving a mental rotation task in congenital hemiparesis: motor imagery versus visual imagery. *Neuropsychologia*, *45*(14), 3324-3328.
- Steenbergen, B., Meulenbroek, R. G., & Rosenbaum, D. A. (2004). Constraints on grip selection in hemiparetic cerebral palsy: effects of lesional side, end-point accuracy, and context. *Cognitive Brain Research*, *19*(2), 145-159
- Steenbergen, B., Hulstijn, W., & Dortmans, S. (2000). Constraints on grip selection in cerebral palsy. *Experimental Brain Research*, *134*(3), 385-397.
- Te Velde, A. F., van der Kamp, J., Becher, J. G., van Bennekom, C., & Savelsbergh, G. J. (2005). Planning and control in a manual collision avoidance task by children with hemiparesis. *Motor Control*, *9*(4), 417-438.
- Thickbroom, G. W., Byrnes, M. L., Archer, S. A., Nagarajan, L., & Mastaglia, F. L. (2001). Differences in sensory and motor cortical organization following brain injury early in life. *Annals of neurology*, *49*(3), 320-327.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). *San Antonio, TX: The Psychological Corporation.*
- Williams, J., Anderson, V., Reid, S. M., & Reddihough, D. S. (2012). Motor imagery of the unaffected hand in children with spastic hemiplegia. *Developmental neuropsychology*, *37*(1), 84-97.

Williams, J., Reid, S. M., Reddihough, D. S., & Anderson, V. (2011). Motor imagery ability in children with congenital hemiplegia: effect of lesion side and functional level. *Research in developmental disabilities, 32*(2), 740-748.

Wohlschläger, A. (2001). Mental object rotation and the planning of hand movements. *Perception & psychophysics, 63*(4), 709-718.



## **5. Avaliação preliminar da eficácia da imagética motora na melhora da função do membro superior de crianças e adolescentes com paralisia cerebral hemiplégica.**

Deisiane Oliveira Souto<sup>1</sup>, Thalita Karla Flores Cruz<sup>1</sup>, Annelise Julio-Costa<sup>2</sup>, Kênia Coutinho<sup>3</sup>,  
Patrícia Lemos Buenos Fontes<sup>4</sup>, Vitor Geraldi Haase<sup>5</sup>.

<sup>1</sup>. Mestranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>2</sup>. Doutoranda no Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>3</sup>. Mestre em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

<sup>4</sup> Professora Doutora, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil.

<sup>5</sup> Professor Doutor Orientador do Programa de Pós-graduação em Neurociências, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil.

## RESUMO

Os déficits motores observados na paralisia cerebral hemiplégica (PCH) são atribuídos a mecanismos envolvidos tanto na execução como no planejamento motor. Contudo, a reabilitação atual concentra-se principalmente em reduzir os comprometimentos na execução motora. A imagética motora é um método promissor para estimular as redes neurais que fundamentam o planejamento e controle de movimentos. Esse estudo piloto teve como objetivo avaliar a efetividade do treinamento de imagética motora na melhora do desempenho funcional dos membros superiores em crianças e adolescentes com PCH. Vinte e quatro voluntários, com idade entre 7 a 14 anos ( $10.75 \pm 2,08$  anos) foram divididos em dois grupos: grupo intervenção (GI) e grupo controle (GC). O GI foi submetido a um protocolo de treinamento de IM duas vezes na semana por oito semanas consecutivas, enquanto o GC recebeu o tratamento usual da Instituição onde frequentava. Os participantes foram avaliados no período pré, pós-intervenção e follow-up pelo seguinte instrumento de medida *Assisting Hand Assessment* (AHA). Os resultados revelaram melhora das funções motoras em ambos os grupos. Análise com modelo linear geral (ANCOVA) e testes post hoc Bonferroni mostraram melhoras significativas entre as medidas pré e pós-intervenção no AHA para o GI. Já o GC apresentou melhora na pontuação do AHA, porém não significativamente. Esses achados sugerem que o programa de treinamento de IM utilizado neste estudo foi eficaz na melhora do desempenho funcional do membro superior de crianças e adolescentes com PCH.

Palavras chave: Imagética motora, reabilitação, paralisia cerebral hemiplégica.

## ASBTRACT

Evidence indicates that the motor deficits observed in hemiplegic cerebral palsy (HCP) are attributed to mechanisms involved both in the execution and in motor planning. However, the current rehabilitation focuses mainly on relieving the impairments in motor execution. Motor imagery (MI) is a promising method for stimulating neural networks underlying the planning and control of movement. This study aimed to evaluate the effectiveness of motor imagery training in improving the motor functions of the upper limbs in children and adolescents with PCH. Twenty-four volunteers, aged 7-14 years ( $10.75 \pm 2.08$  years) were divided into two groups: intervention group (IG) and control group (CG). The IG was submitted to an MI training protocol, while the CG did not receive any intervention. Both groups continued treatment with physical therapy or occupational therapy. Participants were assessed in the pre, post-intervention and follow-up by the following measuring instrument: Assisting Hand Assessment (AHA). The results showed improved motor functions in both groups. The results showed improved motor functions in both groups. Analysis with general linear model (ANCOVA) and Bonferroni post hoc tests showed significant improvements between pre and post-intervention in the AHA for IG. The CG showed improvement in AHA score, but not significantly. These findings suggest that the IM training program used in this study was effective in improving upper limb function in children and adolescents with PCH.

Keywords: Motor imagery, rehabilitation, hemiplegic cerebral palsy.

## 5.1 Introdução

Em crianças com paralisia cerebral hemiplégica (PCH), com dano cerebral unilateral, a capacidade de executar uma variedade de atividades é reduzida. Deficiências sensoriais e motoras observadas na extremidade superior afetada constituem uma importante causa de limitação na função (Fontes, Moura e Haase, 2014). Essas deficiências evoluem com limitações em tarefas simples de vida diária, tais como trocar de roupa, pentear o cabelo, alimentar-se e até mesmo no brincar e em atividades de contexto social (Rosenbaum et al, 2007). Dessa forma, um objetivo óbvio da reabilitação neurológica é melhorar a capacidade e desempenho do braço afetado, a fim de favorecer sua utilização efetiva em tarefas diárias (Gordon, 2011). De acordo com Buccino et al (2012), mesmo envolvidas em um programa de reabilitação integral, incluindo terapia física convencional, uso de órteses e tratamento da espasticidade, cerca de 75% das crianças com PCH podem apresentar comprometimento motor em suas atividades de vida diária. Portanto, há uma necessidade urgente de propor novos programas de reabilitação que visem fortalecer os efeitos da terapia convencional.

Na maioria dos programas de reabilitação endereçados às crianças com PCH, como a Constraint-Induced Movement Therapy (Taub et al, 2004) o membro superior afetado é intensamente treinado. Tal técnica baseia-se no princípio da plasticidade neural, onde a estimulação sensório-motora conduz a reorganização cortical uso-dependente (Taub, Uswatte & Elbert, 2002). Programas mais recente têm sido desenvolvidos em que as atividades bimanuais também são treinadas para melhorar o uso funcional do lado afetado, um exemplo é a Hand–Arm Bimanual Intensive Therapy (Gordon et al, 2007). Em geral, esses programas, ambos de treinamento intensivo, têm sido eficazes na melhoria da capacidade de utilização da extremidade superior afetada de crianças com PCH (Sakzewski, Ziviani & Boyd, 2013).

Recentemente, foi proposto que os prejuízos motores observados em crianças com PCH são atribuídos a mecanismos envolvidos tanto na execução quanto no planejamento motor (Steenbergen & Gordon, 2006). No entanto, as técnicas de reabilitação atuais, como as supracitadas, são predominantemente focadas nos déficits na execução motora, e não especificamente orientadas as deficiências no processo de preparação dos movimentos, ou seja, nos déficits de planejamento motor. Evidências recentes sugerem que problemas com o planejamento motor também podem afetar negativamente o desempenho das atividades de vida diária, e, portanto, precisam ser tratados (Steenbergen et al, 2013). Na tentativa de atenuar as deficiências motoras e acelerar o processo de recuperação funcional, alguns

pesquisadores começaram a investigar a adição de novas técnicas à reabilitação neurológica que visem intervir sobre os déficits de planejamento motor. Estudiosos têm sugerido a imagética motora (IM) como um método promissor para treinar os aspectos "cognitivos" do comportamento motor, podendo ser eficaz no sentido reduzir os déficits no planejamento motor (Steenbergen et al, 2009; Williams et al, 2011).

Por definição, a IM é um processo cognitivo no qual o ensaio interno de uma ação motora é realizado via memória de trabalho, sem qualquer saída evidente do ato motor (Jackson et al, 2001). De acordo com Jeannerod (2001), a IM está intimamente relacionada com as representações motoras envolvidas no planejamento e na execução de movimentos. Assim, a IM fornece uma janela para a compreensão da ação, sendo crítica para o seu planejamento motor (Jackson et al, 2001). Foi sugerido por Sirigu & Duhamel (2001) que a IM corresponde a um processo pelo qual o sistema nervoso central (SNC) ativa um plano motor e acompanha seu desdobramento através de sinais de feedback interno, enquanto a saída motora se mantém em um estado de inibição. Postula-se ainda que a IM seja dotada com as mesmas propriedades do ato motor correspondente, podendo desempenhar a mesma relação causal na geração de um movimento (Jeannerod & Decety, 1995). Dessa forma, ao realizar tarefas de IM, ocorre à geração de impulsos que são enviados para os músculos responsáveis por aquela ação. Tal ativação apresenta papel importante no sentido de auxiliar na aprendizagem e melhora das habilidades motoras (Page et al, 2001).

Para Decety e Grezes (1999), a IM representa o envolvimento consciente de regiões do cérebro frequentemente ativadas de maneira inconsciente durante a preparação de ações motoras. Tem sido teorizado que o processo de imaginação motora independe da execução física do movimento, contudo, é dependente do processamento de mecanismos centrais (Jeannerod, 1994). Assim, o uso de IM pode facilitar a organização de comandos motores centrais, com conseqüente melhora das habilidades motoras. Essa teoria é suportada por estudo de imageamento cerebral conduzido por Jackson et al (2001), no qual foi evidenciado que a IM induziu mudanças no padrão de ativação cerebral em áreas corticais associadas ao planejamento motor.

Semelhanças entre a IM e o ato motor fisicamente executado suportam o uso dos movimentos imaginados na reabilitação neurológica. Estudos prévios têm sublinhado as similaridades entre movimentos executados e imaginados no que se refere às funções neurofisiológicas e psicofísicas, fornecendo evidências de que ambos se baseiam em um mesmo processo (Jeannerod, 2001; Grezes & Decety, 2001; Malouin, Richards & Durand,

2012). Do ponto de vista neurofisiológico, experimentos utilizando ressonância magnética funcional demonstram que as estruturas neurais ativadas na execução dos movimentos também são ativadas durante tarefas de IM. Mais especificadamente, regiões cerebrais tais como, área motora suplementar (Grezes & Decety, 2001), córtex pré-motor (Jackson et al, 2001), córtex motor primário (Gerardin et al, 2000), cerebelo (Lotze et al,1999) e córtex parietal posterior (Grezes & Decety, 2001) são ativadas tanto na execução quanto na imaginação de diferentes ações motoras. No que se referem às semelhanças psicofísicas, estudos comportamentais demonstraram que o tempo para imaginação de um movimento e para sua efetiva execução é temporalmente congruente (Malouin, Richards & Durand, 2012). Outro aspecto que demonstra similaridade entre a execução e a imaginação diz respeito às alterações na frequência cardíaca e respiratória observadas durante tarefas de IM, sugerindo ação similar do sistema nervoso autônomo (Decety et al, 1993; Oishi, Kasai & Maeshima, 2000). Evidências mostram ainda que durante a IM ocorrem ativações tanto a nível cortical quanto na musculatura imaginada, levando a produção de micro-contrações com consequente melhora da coordenação neuromuscular (Breitling, Guenther & Rondot, 1986).

A partir desta premissa, sugerimos que a IM pode favorecer a aquisição de habilidades motoras por meio de ensaios mentais sistemáticos (Steenbergen et al, 2009). Diversas linhas de evidências ligadas à psicologia cognitiva têm mostrado a eficácia do treinamento de IM no contexto de desportos (Guillot & Collet, 2008). Os principais benefícios relatados estão relacionados ao aprendizado (Guillot et al, 2012; Allami et al, 2008), otimização do desempenho no esporte (Cocks et al, 2014), melhora na velocidade e precisão (Gentili, Papaxanthis & Pozzo, 2006) e melhora de habilidades motoras gerais (Zijdwind et al, 2003). A suposição de que a IM pode melhorar o desempenho de atletas foi confirmada em meta-análise conduzida por Driskell, Copper & Moran (1994), onde ficou evidenciado que a IM foi benéfica no sentido de facilitar a prática física. Contudo, embora os ganhos reportados com o treino de IM sejam superiores a condição controle, os resultados dos estudos indicaram que seus benefícios não equivalem aos ganhos obtidos na prática física. Tais resultados não suportam os dados obtidos no estudo de Allami et al. (2008), onde ficou evidenciado que em determinadas tarefas motoras a IM leva a ganhos superiores em comparação à prática física.

Dado os resultados positivos em atletas, Steenbergen et al. (2009) propôs que a IM pode ser uma ferramenta promissora para treinar a rede neural após a lesão. No entanto, escassos são os estudos destinados à investigação dos benefícios do treinamento da IM em pacientes neurológicos. Dos estudos existentes, em sua maioria, investigaram a efetividade da

IM em indivíduos que sofreram acidente vascular cerebral (AVC), seja na fase aguda (Page, 2001) ou crônica (Sharma, Pomeroy & Baron, 2006). Estudos experimentais revelaram uma tendência a efeito positivo do treinamento de tarefas de IM sobre a aprendizagem motora (Jackson et al, 2003), redução dos déficits sensório-motores (Liu et al, 2004), melhora da função do membro superior (Page, Levine & Leonard, 2007), reorganização cortical (Page et al, 2009) e melhor desempenho na execução de atividades de vida diária (Crosbie et al, 2004) de indivíduos após AVC. A revisão por Braun et al (2006) incluíram 10 estudos randomizados que incidiram exclusivamente no treino de tarefas de IM sob a função do membro superior após o AVC. Essa revisão sistemática apontou melhora em todas as funções motoras avaliadas, fornecendo evidências positivas para o uso de IM como uma ferramenta de reabilitação adicional na recuperação pós-AVC. Esses resultados são suportados por recente meta-análise conduzida por Kho, Liu e Chung (2014) para verificar os efeitos da IM sobre a recuperação do membro superior hemiplégico. Em sua maioria, os artigos revisados apontaram efeitos benéficos, sugerindo que a IM é eficaz na recuperação dos déficits motores de pacientes pós-AVC.

No contexto da reabilitação, os efeitos positivos do treinamento de IM não se limitam aos reportados em indivíduos pós-AVC. Porretta e Surburg (1995) exploraram o uso da IM como método para facilitar a preparação e execução de uma tarefa motora em adolescentes com deficiência mental leve. Foi evidenciado que a prática imaginária foi benéfica no sentido de facilitar o tempo de reação e tempo de movimento dos indivíduos com transtornos mentais. Wilson, Thomas e Maruff (2002) avaliaram os efeitos do treinamento de tarefas de IM na aprendizagem e desenvolvimento de habilidades motoras em crianças com transtorno do desenvolvimento da coordenação (dispraxia). Após o programa de treinamento mental ser aplicado durante 5 semanas consecutivas, com duração de 60 minutos a sessão, os resultados mostraram que a IM foi igualmente benéfica em comparação ao tratamento motor perceptual tradicional. Os autores concluíram que, mesmo em crianças com coordenação motora prejudicada, a intervenção por IM pode facilitar as habilidades motoras.

Com base nessas linhas de evidências apontando os efeitos positivos do treinamento de tarefas de IM na reabilitação, torna-se viável sugerir que as crianças com PCH também poderiam se beneficiar de um programa de reabilitação envolvendo o uso de IM. Em único estudo preliminar, Cabral, Narumia e Teixeira (2010) avaliaram os efeitos do treino de tarefas de IM na habilidade de subir degraus de uma escada em crianças com paralisia cerebral do tipo Doplégica. Os resultados mostraram ganhos surpreendentes no desempenho, com uma das

crianças reduzindo em 193 s o tempo gasto para executar a tarefa. Embora a amostra que recebeu a intervenção por IM foi composta por apenas três crianças, uma melhora no desempenho de tal magnitude sugere que os efeitos da IM poderiam ser potencialmente efetivos em indivíduos com PCH. Apesar desses indícios, este é um tema que ainda não foi abordado em investigações científicas. Uma escassez total de estudos empregando a IM nessa população foi confirmada por estudos de revisão conduzido por Jacson et al., em 2001 e pouco mais tarde, em 2009, por Steenbergen et al. Uma ausência absoluta de informações sobre o efeito da IM na PCH persiste ainda nos dias de hoje, como confirmado em busca pessoal recente realizada em diferentes bases de dados (Pub-Med/Medline, Lilacs, SciELO). Em um único estudo recente, Cabral-Sequeira, Coelho & Teixeira (2016) após aplicar tarefas de IM em um grupo de crianças com PCH, verificaram que o treino de IM parece ser um recurso potencialmente útil para melhorar a capacidade de aprendizagem motora.

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo investigar os efeitos do treinamento de tarefas de IM na melhora do desempenho funcional do membro superior de crianças com PCH. Presume-se que a IM pode ser uma estratégia de reabilitação adicional útil para acelerar o processo de recuperação funcional do membro superior dessas crianças. Apesar do enorme potencial de aplicação dessa técnica sobre a aprendizagem e desempenho motor, apenas um único estudo procurou determinar seus benefícios sobre as deficiências motoras de crianças com PCH. A IM tem demonstrado ser um método possível para ativar redes motoras envolvidas no planejamento motor. Como as estruturas neurais de ambos, o planejamento motor e IM, se sobrepõe, acreditamos que a reabilitação por IM pode aliviar os déficits de planejamento motor levando a melhora no desempenho de atividade de vida diária (Steenbergen et al, 2009). A este respeito, os resultados de estudos clínicos em pacientes com dano cerebral adquirida, pós-AVC, são promissores (Kho, Liu & Chung, 2014). Uma vantagem adicional deste treinamento é que ele vai incluir participantes que normalmente são excluídos dos programas de treinamento físico devido à capacidade física limitada.

## 5.2 Metodologia

### 5.2.1 Delineamento e participantes

O delineamento adotado foi o de um estudo do tipo quase experimental, no qual a amostra foi obtida por conveniência, recrutada a partir de dois centros de reabilitação: Associação Mineira de Reabilitação (AMR) e Associação dos Pais Amigos e Excepcionais



(APAE), ambas localizadas em Belo Horizonte e região metropolitana, em Minas Gerais. Os centros de reabilitação participantes eram clínicas-escola conveniadas a uma única Instituição de Ensino Superior. Vinte e quatro voluntários diagnosticados com PCH, com idade entre 7 a 14 anos ( $10.75 \pm 2,08$  anos) foram incluído no estudo. Destes, 19 apresentaram lesão no hemisfério cerebral esquerdo (hemiplegia à direita) e cinco possuíam lesão no hemisfério cerebral direito (hemiplegia à esquerda). Os participantes elegíveis para participar do estudo preencheram os seguintes critérios de inclusão: função cognitiva e memória de trabalho preservada, capacidade de realizar tarefa de IM e estar em tratamento com fisioterapia ou terapia ocupacional nas instituições participantes. Foram excluídas do estudo as crianças com patologias associadas, distúrbios do movimento e que sofreram intervenção cirúrgica nos últimos 6 meses ou aplicação de toxina botulínica. Os participantes foram distribuídos em dois grupos: grupo intervenção - GI (N: 12, idade média  $10,25 \pm 2,95$  anos) e grupo controle - GC (N: 12, idade média  $11,25 \pm 2,66$  anos). O critério utilizado para distribuição dos participantes nos grupos intervenção e controle foi a instituição de origem nas quais os mesmos realizavam o tratamento convencional. Os voluntários que recebiam atendimento na AMR foram alocados no GC, enquanto aqueles atendidos na APAE constituíram o GI. Os participantes do GI foram submetidos a um protocolo de treinamento de IM, enquanto o GC recebeu apenas o tratamento convencional em sua instituição de origem. Os voluntários do GI também mantiveram o tratamento convencional regularmente. A Figura 1 mostra o processo de distribuição dos participantes nos grupos.

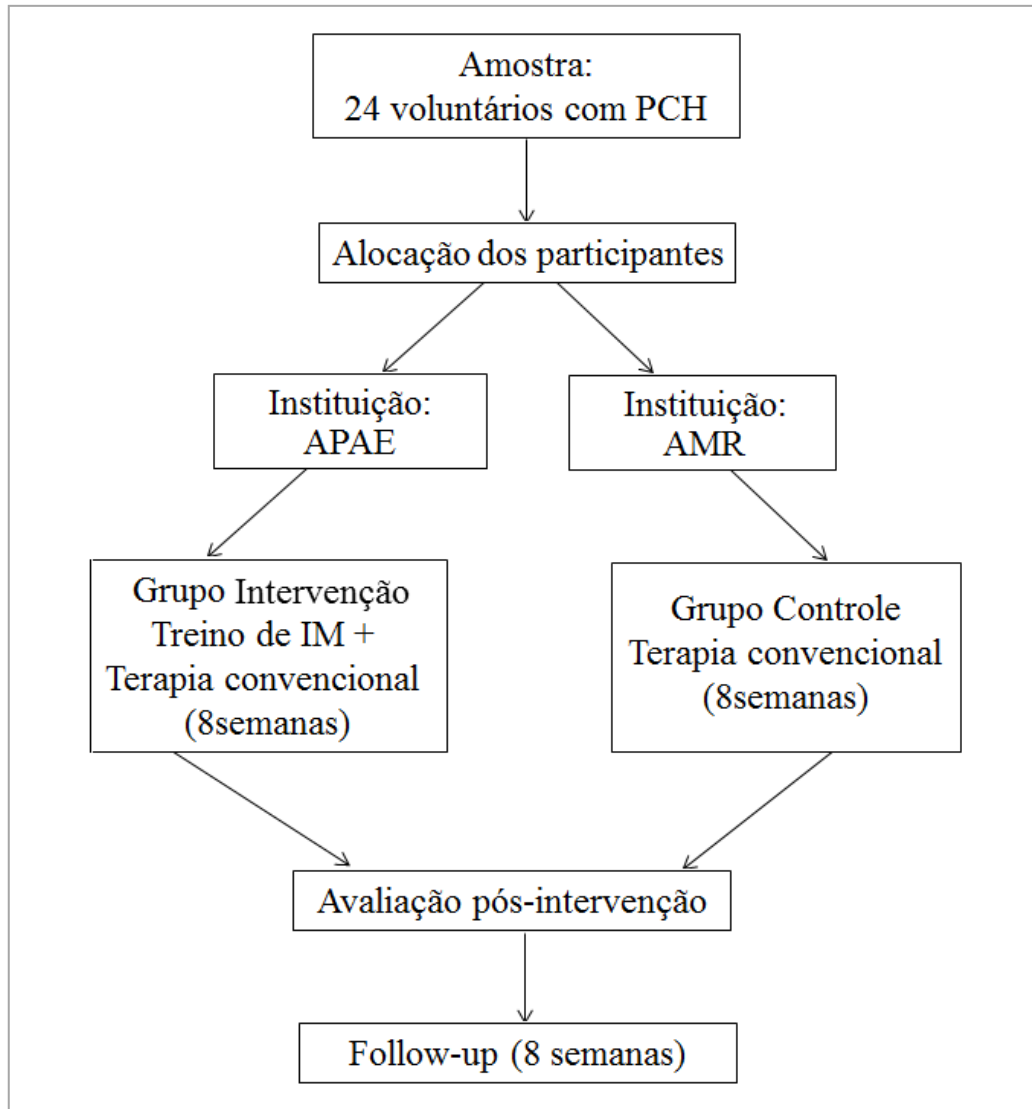


Figura 2: Fluxograma de estudo.

Abreviaturas: PCH, paralisia cerebral hemiplégica; APAE, Associação dos Pais Amigos e Excepcionais; AMR, Associação dos pais.

### 5.2.2 Intervenções

*Protocolo de treinamento de IM:* Este é o primeiro estudo destinado a avaliar a efetividade do treinamento de tarefas de IM como ferramenta de reabilitação dos membros superiores de crianças com PCH. Assim, não havia dados anteriores sobre os quais pudéssemos embasar para definir o melhor protocolo a ser seguido para aplicação da IM nessa população. Dessa forma, o protocolo de treinamento de IM utilizado nesse estudo foi estabelecido tomando como base os estudos em indivíduos com hemiplegia adulta pós-AVC (Malouin, Jackson &

Richards, 2013; Page, Levine & Leonard, 2007; Page et al, 2001; Riccio et al, 2010) e em crianças com dispraxia (Wilson, Thomas & Maruff, 2002).

A fim de definir as atividades de vida diária que seriam treinadas no protocolo de IM, anteriormente ao início do estudo os pais foram convidados a listar as atividades nas quais as crianças apresentavam dificuldade para realizar de forma independente com os membros superiores. Usando esta listagem, o terapeuta responsável pela aplicação da intervenção selecionou as atividades (ver Tabela 1) que seriam treinadas durante o período de intervenção. Para aplicação do protocolo de IM, todas as atividades selecionadas foram previamente realizadas por uma criança com desenvolvimento típico (12 anos de idade) em ambiente domiciliar, gravadas e transformadas em vídeos para facilitar a compreensão das crianças e guiar o treino imaginário durante as sessões. Para cada tarefa foi confeccionada um vídeo com duração entre 1,30 segundos a 2,90 segundos.

O protocolo de treinamento de IM de atividades de vida diária seguiu os seguintes passos: (1) Cada participante foi orientado a primeiramente concentrar-se na técnica do movimento assistindo ao vídeo de uma criança com desenvolvimento típico executando a tarefa em uma perspectiva de terceira pessoa. (2) O voluntário deveria concentrar-se e tentar realizar mentalmente a referida tarefa na perspectiva de primeira pessoa (3) Após o treino mental, o voluntário deveria ainda realizar fisicamente a atividade. Para isso, os objetos necessários para execução das tarefas foram entregues ao participante. A combinação de IM e prática física foram empregadas no estudo tendo em vista as evidências mostrando que quando a IM e a prática física são fornecidas em uma mesma sessão os resultados são mais benéficos (Malouin, Jackson & Richards, 2013). Além disso, acreditamos que as informações aferidas produzidas durante a execução real de uma tarefa são úteis para a reprodução consistente do próximo movimento imaginado. Todas as atividades que compõe o protocolo de IM (Tabela 1) foram treinadas pelos participantes do GI durante todas as sessões, as quais foram realizadas duas vezes por semana, durante oito semanas consecutivas. A duração média das sessões foi de 50 minutos e foram conduzidas no centro de reabilitação de origem do participante. A intervenção foi conduzida pelo pesquisador 1 do estudo (profissional com formação em fisioterapia).

Tabela 1: Atividades de vida diária treinadas no protocolo de IM.

Atividades do protocolo de treinamento de IM	
1	Apontar um lápis e utilizá-lo para escrever
2	Recortar com uma tesoura
3	Segurar um copo e levá-lo a boca
4	Levar uma colher á boca
5	Escovar os dentes
6	Lavar as mãos (usando sabonete e toalha)
7	Abrir um pote com biscoitos
8	Calçar o tênis e amarrar os cadarços
9	Vestir uma blusa
10	Abotoar botões de uma blusa
11	Fechar o zíper das calças
12	Pentear os cabelos
13	Abrir a maçaneta de uma porta
14	Utilizar uma chave para abrir a fechadura de uma porta
15	Arremessar uma bola

*Terapia convencional:* Os participantes do GC não receberam o treinamento por IM. Todos mantiveram os atendimentos da terapia convencional. Os atendimentos nos centros de reabilitação eram oferecidos uma ou duas vezes na semana, conforme a necessidade da criança. O atendimento oferecido aos participantes nos dois centros de reabilitação era similar, uma vez que ambos os centros eram clínicas-escola conveniada a uma mesma instituição de ensino superior. As sessões com duração média de 50 minutos incluíam alongamento muscular; exercícios de fortalecimento, exercícios para melhora das funções de alcance, manipulação, prensão e pinça fina; dentre outros. Diferente do protocolo de IM empregado nesse estudo, os atendimentos da terapia convencional também eram voltados para a recuperação do membro inferior plégico (alongamentos, fortalecimentos, treino de marcha e equilíbrio, etc). Os voluntários do GI também mantiveram os atendimentos com a terapia convencional em sua instituição de origem, uma vez que não poderíamos solicitar aos participantes que suspendessem o tratamento convencional, pois perderiam a vaga na instituição. Além disso, não poderíamos retirar os voluntários do tratamento convencional que já possui eficácia comprovada para submetê-los a um tratamento ainda em fase de teste.

### 5.2.3 Instrumentos de medida

Previamente ao período de intervenção, os participantes foram classificados quanto ao nível de funcionalidade do membro superior pelo Manual Ability Classification System - MACS (Eliasson et al., 2006). Os participantes foram avaliados ainda pelas Matrizes Coloridas Progressivas de Raven (Angelini et al., 1999) e pelo Subteste cubos do Wechsler Intelligence Scale for Children fourth Edition - WISC IV (Wechsler, 2003). Estes testes foram aplicados para verificar eventuais diferenças no nível de inteligência entre os grupos, bem como controlar a inteligência como um fator de confusão. O instrumento *Assisting Hand Assessment (AHA)* foi empregado como medida de desfecho para avaliação dos efeitos do treinamento por IM.

O AHA (versão 4.3) foi utilizado para mensurar o desempenho funcional do membro superior das crianças com PCH (Krumlinde-Sundholm et al., 2007). Trata-se de um instrumento padronizado em que as medidas descrevem a eficácia com que uma criança com deficiência unilateral faz uso de seu membro superior afetado (auxiliar) durante atividades que exigem o uso bi-manual (Krumlinde-Sundholm & Eliasson, 2003). Para a aplicação do AHA, primeiramente uma sessão de jogo é gravada conduzida com brinquedos específicos do kit do teste AHA que requer a manipulação bi-manual (duração de 10 a 15 minutos). Posteriormente, a pontuação é dada através de uma análise do vídeo baseado em 22 itens pré-definidos, utilizando uma escala de classificação que varia de 1 a 4 pontos. A soma do escore bruto varia entre 22 (baixa capacidade) a 88 (alta capacidade) pontos. Para análise estatísticas dos dados será considerada a pontuação bruta dos participantes. O AHA foi aplicado por um dos pesquisadores do estudo que possui capacitação para utilização do mesmo.

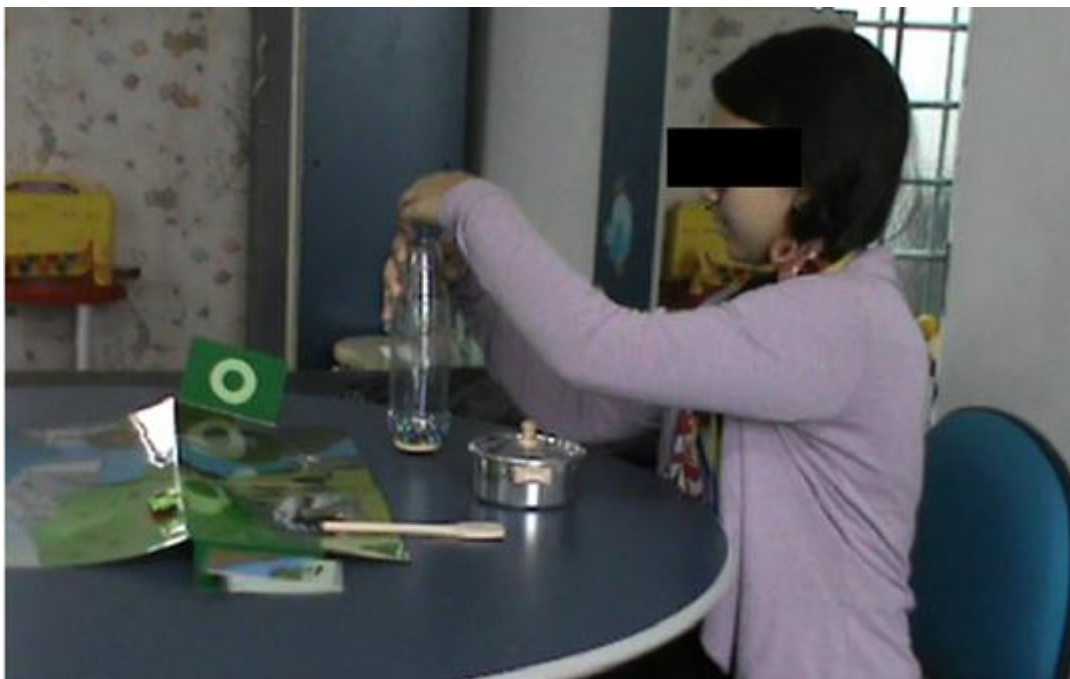


Figura 1: Aplicação do AHA.

#### 5.2.4 Procedimentos

A participação dos voluntários na pesquisa estava vinculada à autorização verbal das crianças e adolescentes e à assinatura dos pais ou responsáveis no termo de consentimento. Todos os procedimentos da pesquisa foram previamente aprovados pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de Minas Gerais (COEP/UFMG). Cada participante foi avaliado individualmente pelo AHA. A primeira avaliação (pré-intervenção) ocorreu na semana em que foi iniciado o período de intervenção. A segunda avaliação (pós-intervenção) foi realizada ao final do período de intervenção e, oito semanas após a intervenção foi aplicada a última avaliação (Follow-up). Um único avaliador (pesquisador 4 do estudo, com formação em fisioterapia) realizou todas as medidas em todos os voluntários individualmente.

Os participantes alocados no GI foram submetidos ao protocolo de IM durante oito semanas consecutivas, duas vezes na semana, com duração média de 50 minutos a sessão. Durante a realização do treinamento das tarefas de IM, o voluntário permaneceu sentado confortavelmente em uma cadeira posicionada a 50 centímetros de um computador Samsung portátil, 14, tela plana. Cada vídeo confeccionado previamente ao início do período de intervenção foi apresentado individualmente na tela do computador. O voluntário foi orientado a assistir os vídeos individualmente concentrando-se na técnica utilizada pela

criança do vídeo (desenvolvimento típico) para executar a tarefa. Após sua finalização, a criança foi orientada a realizar mentalmente a tarefa apresentada. As ações foram apresentadas em uma ordem fixa de acordo com sua complexidade, como julgado pelo experimentador. Cada ensaio mental foi repetido cinco vezes e ao final de cada repetição, os objetos necessários para realização das atividades apresentadas no vídeo correspondente foram colocados sobre a mesa e os voluntários foram orientados a realizar a ação observada, tal como demonstrado no vídeo. A fim de garantir que de fato o voluntário estava realizando a IM das tarefas, o pesquisador responsável pela intervenção utilizou um cronômetro para contabilizar o tempo gasto pelo participante na realização dos movimentos imaginados. Posteriormente, esse tempo foi comparado ao tempo gasto pela criança para a execução da referida tarefa. Tempos similares entre as atividades mental e real comprovariam se de fato os participantes estavam engajados em IM. A intervenção foi conduzida pelo pesquisador 1 do estudo (profissional com formação em fisioterapia).

Os participantes do GC mantiveram os atendimentos da terapia convencional, os quais eram oferecidos de uma a duas vezes por semana por profissionais de fisioterapia ou terapia ocupacional. Os objetivos de tratamento estabelecidos pelos terapeutas que atendiam as crianças foram mantidos e nenhuma alteração da rotina de atendimentos ocorreu durante o período do estudo.

#### 5.2.5 Análise estatística

Inicialmente, a homogeneidade da amostra em relação ao sexo, idade e lateralidade da hemiplegia foi avaliada com o teste Qui-quadrado. O Teste t Student de amostras independentes foi usado para comparação das médias de escore Z dos testes de inteligência. Para comparação das médias obtidas na medida pré-intervenção entre os grupos também foi utilizado o Teste t Student de amostras independentes. Diferenças no ganho de pontuação entre os grupos foram analisados com modelos lineares gerais (ANCOVA). A inteligência foi considerada um fator de confusão e, por isso, incluído na ANCOVA. Quando os resultados mostraram efeitos principais significativos, à análise post hoc de Bonferroni para comparações múltiplas foi usado para identificar as diferenças. O nível de significância foi definido como  $p < 0.05$ . As análises foram realizadas no SPSS, versão 1.4.

### 5.3 Resultados

Dos 24 voluntários que fizeram a avaliação pré-intervenção, todos finalizaram o estudo. Os grupos foram homogêneos em relação ao sexo ( $\chi^2=0,168$ ;  $p=0,682$ ), idade ( $\chi^2=9,600$ ;  $p=0,143$ ) e lado da hemiplegia ( $\chi^2=0,253$ ;  $p=0,615$ ). A Tabela 2 fornece informações referentes às características dos participantes. Ao comparar o número médio de sessões de terapia convencional realizado pelos participantes de cada grupo durante o estudo, verificamos que a diferença no número de sessões não diferiu significativamente ( $t=0,083$ ;  $p=0,686$ ).

Tabela 2: Características dos participantes do estudo.

Características		Grupo intervenção (N = 12)	Grupo controle (N = 12)
Sexo	Masculino	7 (58,34%)	6 (50 %)
	Feminino	5 (41,66%)	6 (50 %)
Idade		10,25±2,95	11,25±2,66
Hemiplegia	Direita	10 (83,33%)	9 (75%)
	Esquerda	2 (16,66%)	3 (25%)
MACS	I	3	4
	II	6	6
	III	3	2
Instituição de origem		APAE	AMR

Abreviações: MACS, Sistema de classificação da habilidade manual; APAE, Associação e Associação dos Pais, Amigos e Excepcionais. AMR, Associação Mineira de Reabilitação.

Ao comparar as médias de escore Z dos testes de inteligência, verifica-se que os grupos não diferiram significativamente, como evidenciado na Tabela 3. Além disso, os resultados das comparações das medidas pré-intervenção revelou que ambos os grupos iniciaram o estudo com um nível similar de desempenho funcional do membro superior, tal como evidenciado no AHA ( $t=0,026$ ;  $p=0,980$ ).



Tabela 3: Comparação da inteligência entre os grupos

Instrumento	Grupo intervenção	Grupo controle	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>d</i>
	N=6	N=6			
	Média (dp) escore Z	Média (dp) escore Z			
Raven	-0,551 (0,136)	-0,306 (0,261)	2,034	0,079	-1,19
Wisc IV (Cubos)	-0,916 (0,246)	-0,990 (0,257)	-0,505	0,625	0,29

A Tabela 4 apresenta os resultados referentes às comparações dos grupos intervenção e controle nos escores de ganho das avaliações pré-intervenção, pós-intervenção e *follow-up*, no teste AHA. Os resultados da ANCOVA apontam diferenças estatisticamente significativas entre as medidas ( $F[3]=7,94$ ;  $p<0,001$ ;  $\eta^2=0,254$ ). Verificamos que os ganhos obtidos pelo GI foram superiores à melhora observada no GC. Correções com post hoc Bonferroni mostraram que as medidas pré-intervenção do GI melhoraram significativamente em comparação à medida pós-intervenção no AHA ( $p<0,029$ ;  $\eta^2=0,657$ ).

Para as medidas pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up do GC, as diferenças não atingiram significância estatística em ambos os testes ( $p>0,05$ ). Contudo, observamos uma pequena e progressiva melhora na pontuação do AHA. A figura 3 mostra as pontuações médias dos grupos nas medidas pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up.

Tabela 4. Comparações entre as medidas nos grupos intervenção e controle.

Grupo	Instrumento	Pré-intervenção	Pós-intervenção	Follow-up	ANCOVA (Covariante: Inteligência)		
					M (dp)	M (dp)	M (dp)
Grupo intervenção	AHA	60,33 (15,49)	64,42 (16,13)	63,75 (16,04)	6,265	0,029*	0,657
Grupo controle		60,17 (16,25)	61,00 (15,98)	61,42 (15,74)	0,151	0,927	0,052

Resultados do post hoc Bonferroni: \*  $p=0,001$  com pré-intervenção < pós-intervenção.

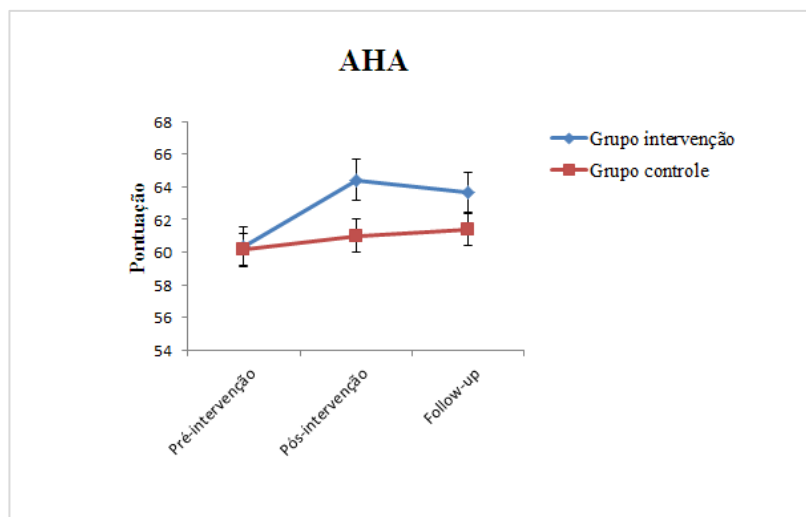


Figura 3: Escores médios dos grupos intervenção e controle nas medidas pré-intervenção, pós-intervenção e follow-up. As barras de erro representam o erro padrão.

#### 5.4 Discussão

Neste estudo, conduzimos testes iniciais da exequibilidade e eficácia de um protocolo de intervenção baseado no treinamento de tarefas de IM na melhora do desempenho funcional do membro superior de indivíduos com PCH. Foi hipotetizado que o grupo de crianças e adolescentes submetidos ao treino de tarefas de IM apresentaria ganhos superiores quando comparado ao grupo controle. Os resultados quanto à efetividade dessa técnica foram promissores ao evidenciar melhoria de maior magnitude no grupo que recebeu tal intervenção.

Propomos aqui o uso de IM como uma ferramenta útil na reabilitação de crianças com PCH, atuando diretamente sobre os déficits de planejamento motor. Os resultados do presente estudo mostraram que a adição do treinamento de tarefas de IM no GI potencializou os efeitos da reabilitação convencional, resultando em maiores ganhos no desempenho funcional do membro superior plégico. Esses achados são relevantes e fornecem provas experimentais para o uso da IM como ferramenta complementar a fisioterapia convencional. Esses resultados são congruentes com os achados de Porreta e Surburg (1995), que encontraram melhoras significativas do treinamento de IM sobre a aprendizagem motora em indivíduos com transtorno mental. Os autores distribuíram aleatoriamente 32 adolescentes em três grupos: prática física associada à IM, a IM pura e prática física pura. Os resultados mostraram que a prática física em conjunto com IM resultou em desempenho

significativamente superiores aos demais grupos (Porretta e Surburg 1995). Esses achados nos levam a sugerir que o treinamento de tarefas de IM será mais eficaz se for combinado com a prática física. No presente estudo, devido ao número limitado de voluntários, ficamos impossibilitados de criar um terceiro grupo para verificar se os efeitos do treinamento de tarefas de IM isolado seriam tão benéficos quanto os obtidos em conjunto com a terapia convencional. Contudo, existem evidências consistentes de que a prática física é superior à prática mental e esta, por sua vez, superior à ausência de prática, além disso, quando ambas as práticas são associadas, os resultados são superiores aos observados com o treino isolado, seja ele físico ou mental (Guillot & Collet, 2008).

Os resultados atuais são complementares aos reportados por Cabral, Narumia e Teixeira (2010) em crianças com paralisia cerebral do tipo Diplégica. Esses autores encontraram um desempenho superior no grupo que recebeu o treino de tarefas de IM quando comparado ao grupo controle, que não realizou nenhum tratamento, apenas a terapia convencional. No estudo de Cabral, Narumia e Teixeira (2010) três crianças Diplégicas foram submetidas a seis semanas de intervenção utilizando a IM para treinar a atividade de subir escadas. Foi evidenciado menor tempo gasto para subir as escadas e melhora na qualidade dos movimentos dos participantes que receberam a intervenção. Juntos, esses resultados reforçam os benefícios do treino de tarefas de IM em crianças com PC, mostrando que essa pode ser uma abordagem eficaz na melhora das habilidades motoras nessa população.

Wilson, Thomas & Maruff (2002) avaliaram os efeitos do treinamento de tarefas de IM na aprendizagem e desenvolvimento de habilidades motoras em crianças com déficits na coordenação motora. Ao final do estudo, foi verificado que a IM foi igualmente benéfica em comparação ao tratamento motor perceptual tradicional. Os autores concluíram que, mesmo em crianças com coordenação motora prejudicada, a intervenção por IM pode facilitar habilidades motoras. Tal como evidenciado no estudo atual, postula-se que o protocolo de treinamento de imaginação empregado foi capaz de gerar mudanças substanciais no desempenho funcional do membro superior prejudicado.

Os resultados do presente estudo estão de acordo com aqueles obtidos na hemiplegia adulta. Existem crescentes evidências para a eficácia do treinamento de IM em indivíduos com AVC, tal como comprovado no estudo de Page, Levine & Leonard (2007). Esses autores avaliaram a efetividade de um programa de intervenção baseado no treinamento de IM em um grupo de indivíduos hemiplégicos pós-AVC. Além de redução dos déficits sensório-

motores do braço afetado, os autores reportaram melhora na funcionalidade e desempenho do membro superior dos indivíduos para realizar atividades de vida diária, como evidenciado pelas *Fugl-Meyer Scale* e *Action Research Arm Test*.

Nesse estudo, foi evidenciada eficácia do treinamento de tarefas de IM na melhora do membro superior de crianças e adolescentes com PCH. Alguns pesquisadores têm questionado a forma como a IM pode melhorar o desempenho motor em pacientes neurológicos (Johnson-Frey, 2004). A relação entre a IM, planejamento motor e modelo interno de controle da ação pode fornecer uma base teórica para explicar os efeitos do treinamento de tarefas de IM sobre o desempenho motor. Para Jeannerod (1994) a IM exibe muitas das propriedades do planejamento motor e é considerada um método válido para treinar o modelo interno de controle da ação. O modelo interno de controle motor foi proposto por Wolpert (1997), é um sistema neural que simula a próxima ação. Esse modelo atua como preditor no sistema nervoso central (SNC), fornecendo previsões que permitem o planejamento e a execução bem sucedida da ação (Wolpert, 1997; Frith & Wolpert, 2000). Assim, para cada ação pretendida, o SNC emite um comando motor para os músculos, simultaneamente uma cópia do comando do motor é usada para prever o estado futuro do membro em movimento (Frith, Blakemore & Wolpert, 2000; Wolpert & Flanagan, 2001). Acreditamos que a melhora no desempenho motor observada nos participantes do GI pode ser explicada, em partes, pela evocação do planejamento motor e ativação do modelo interno de controle da ação que ocorrem durante a simulação mental dos movimentos. Suportando essa hipótese, Steenbergen et al. (2013) propôs que o treinamento de tarefas de IM pode afetar positivamente o modelo interno e, por sua vez, melhorar o desempenho motor em atividades de vida diária. Em apoio a esta ideia, Caeyenberghs et al (2009) sugeriram ainda que ao realizar tarefas de IM o modelo interno de controle da ação é acionado, com isso o sistema motor se mantém ativo, facilitando a posterior execução física do movimento.

Na tentativa de explicar os efeitos do treino de tarefas de IM, Jeannerod (2001) sugere que existem redes neurais já estabelecidas para determinados atos motores, e que, ao realizar tarefas de IM essas redes neurais envolvidas no gesto motor executado são reforçadas. Dessa forma, a melhora do desempenho motor ocorre pelo reforço da coordenação de padrões motores responsáveis pela habilidade motora treinada (Jeannerod, 2001). Para Szaflarski et al (2006) a melhora decorrente do treino mental pode ser atribuída a um mecanismo de reorganização cerebral, no qual novas áreas são recrutadas para assistir os movimentos do braço afetado. Weiss et al (1994) sugere que os ganhos resultantes do treinamento de tarefas

de IM se devem à estimulação de regiões do cérebro normalmente envolvidas no planejamento e controle dos movimentos do membro paralisado. Esse pressuposto é reforçado por inúmeros estudos de neuroimagem funcional mostrando atividade em áreas motoras durante as tarefas de IM (Grezes & Decety, 2001).

É importante ressaltar que a IM possui um grande valor, porém não substitui a execução física dos movimentos, ou seja, a IM é complementar e não substituta aos outros tratamentos da extremidade superior existentes, uma vez que atua nos aspectos cognitivos do sistema de controle motor e não diretamente na execução física. A IM é capaz de proporcionar efeitos adicionais ao treinamento motor pela maior estimulação central, além de diversificá-lo (Sharma, Baron & Rowe, 2006). Embora a IM seja subjetiva, é potencialmente menos invasiva e intensiva do que outros métodos adicionais de tratamento. Além disso, para muitos indivíduos com lesão no SNC à execução de determinados movimentos é muito difícil, por vezes impossível, o que dificulta a sua participação ativa no processo de reabilitação. Assim, uma vantagem adicional desse treinamento é que ele vai incluir participantes que normalmente são excluídos dos programas de treinamento físico devido à capacidade física limitada. Outra vantagem da aplicação de tarefas de IM é que pode ser usada com segurança e não necessita de instalações especiais ou equipamentos, sendo um recurso simples e de baixo custo. (Sharma, Baron & Rowe, 2006). Por fim, a IM pode ser utilizada em casa, sem vigilância (ou com a supervisão dos pais).

## 5.5 Limitações

Uma limitação do delineamento quase experimental utilizado nesse estudo refere-se à extensão e intensidade do tratamento recebido pelos grupos. Os grupos, experimental e controle, receberam praticamente o mesmo número de sessões de terapia convencional, contudo, o GI recebeu o treinamento de tarefas de IM, enquanto o GC não recebeu nenhum tipo de terapia alternativa. Além disso, não foi utilizado nesse estudo o método de randomização aleatorizada, a amostra foi obtida por conveniência e distribuída em grupo intervenção e controle conforme centro de reabilitação em que realizava a terapia convencional. Também consideramos uma limitação desse estudo a ausência de um terceiro grupo em que fosse aplicado o treino de tarefas de IM isolada. Isso é necessário, pois seria possível verificar se a IM usada isoladamente apresentaria os mesmos efeitos quando aplicada em conjunto com a terapia convencional.

Apesar de os resultados desse estudo fornecer evidências preliminares da eficácia do treinamento de tarefas de IM na reabilitação de crianças com PCH, é importante ressaltar que eles foram obtidos em um pequeno grupo de pacientes. Estudos futuros com amostras maiores ainda são necessários a fim de confirmar os potenciais benefícios dessa técnica como ferramenta de reabilitação em crianças com PCH.

## 5.6 Conclusão

O desenvolvimento de técnicas adicionais que busquem a recuperação da funcionalidade de pacientes com PCH é primordial para promover a independência e qualidade de vida. A IM tem emergido como uma alternativa de grande potencial para a reabilitação funcional e redução dos déficits motores nessa população. Com esse estudo, verificamos que o treinamento de tarefas de IM quando combinada à terapia convencional mostrou-se um método útil e eficaz, apresentando resultados significativos na melhora do desempenho funcional de crianças e adolescentes com PCH.

Aqui nós fornecemos evidências preliminares de que o treinamento por IM quando associado a terapia convencional pode gerar ganhos funcionais em pacientes com PCH. No entanto, devido à escassez total de ensaios clínicos sobre a utilização dessa abordagem terapêutica em crianças com PCH protocolos de reabilitação não estão disponíveis. Com isso, ainda não é possível padronizar sua utilização como conduta fisioterapêutica na reabilitação neurológica, tendo em vista que ainda não há um consenso quanto à frequência, duração, o tipo de IM (cinestésica ou visual) e o momento apropriado de sua aplicação. Sendo assim, estudos futuros são necessários para que protocolos de treinamento possam ser estabelecidos, buscando assim resultados mais evidentes. Apesar disso, os resultados aqui apresentados fornecem evidências iniciais da eficácia da IM na reabilitação de crianças com PCH.

## 5.7 Referências

- Allami, N., Paulignan, Y., Brovelli, A., & Boussaoud, D. (2008). Visuo-motor learning with combination of different rates of motor imagery and physical practice. *Experimental Brain Research*, 184(1), 105-113.
- Angelini, A. L., Alves, I. C. B., Custódio, E. M., Duarte, W. F. & Duarte, J. L. M. (1999). *Matrizes Progressivas Coloridas de Raven: Escala Especial*. Manual. São Paulo: CETEPP.

- Arnould, C., Penta, M., & Thonnard, J. L. (2008). Hand impairments and their relationship with manual ability in children with cerebral palsy. *Journal of Rehabilitation Medicine, 39*(9), 708-714.
- Bastos, A. F., Carrapatoso, B. C., Orsini, M., Leite, M. A. A., Silva, J. G. D., & Souza, G. G. L. D. (2012). Functional recovery of upper limb post-stroke: mental practice with motor and non-motor imagery.
- Braun, S. M., Beurskens, A. J., Borm, P. J., Schack, T., & Wade, D. T. (2006). The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systematic review. *Archives of physical medicine and rehabilitation, 87*(6), 842-852.
- Breitling, D., Guenther, W., & Rondot, P. (1986). Motor responses measured by brain electrical activity mapping. *Behavioral neuroscience, 100*(1), 104.
- Cabral, A. S., Narumia, L. C., & Teixeira, L. A. (2010). Facilitação do planejamento e da aprendizagem por meio da prática mental na Paralisia Cerebral. *Rev Neurocienc, 18*, 150-5.
- Caeyenberghs, K., Tsoupas, J., Wilson, P. H., & Smits-Engelsman, B. C. (2009). Motor imagery development in primary school children. *Developmental Neuropsychology, 34*(1), 103-121.
- Cocks, M., Moulton, C. A., Luu, S., & Cil, T. (2014). What surgeons can learn from athletes: mental practice in sports and surgery. *Journal of surgical education, 71*(2), 262-269.
- Crosbie, J. H., McDonough, S. M., Gilmore, D. H., & Wiggam, M. I. (2004). The adjunctive role of mental practice in the rehabilitation of the upper limb after hemiplegic stroke: a pilot study. *Clinical Rehabilitation, 18*(1), 60-68.
- Decety, J., & Grèzes, J. (1999). Neural mechanisms subserving the perception of human actions. *Trends in cognitive sciences, 3*(5), 172-178.
- Decety, J., Jeannerod, M., Durozard, D., & Baverel, G. (1993). Central activation of autonomic effectors during mental simulation of motor actions in man. *The Journal of Physiology, 461*(1), 549-563.
- Driskell, J. E., Copper, C., & Moran, A. (1994). Does mental practice enhance performance?. *Journal of applied psychology, 79*(4), 481.
- Eliasson, A. C., Krumlinde-Sundholm, L., Rösblad, B., Beckung, E., Arner, M., Öhrvall, A. M., & Rosenbaum, P. (2006). The Manual Ability Classification System (MACS) for

children with cerebral palsy: scale development and evidence of validity and reliability. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(07), 549-554.

Fontes, P. L., Moura, R., & Haase, V. G. (2014). Evaluation of body representation in children with hemiplegic cerebral palsy: Toward the development of a neuropsychological test battery. *Psychology & Neuroscience*, 7(2), 139.

Frith, C. D., & Wolpert, D. M. (2000). Abnormalities in the awareness and control of action. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 355(1404), 1771-1788.

Gentili, R., Papaxanthis, C., & Pozzo, T. (2006). Improvement and generalization of arm motor performance through motor imagery practice. *Neuroscience*, 137(3), 761-772.

Gerardin, E., Sirigu, A., Lehericy, S., Poline, J. B., Gaymard, B., Marsault, C., ... & Le Bihan, D. (2000). Partially overlapping neural networks for real and imagined hand movements. *Cerebral cortex*, 10(11), 1093-1104.

Guillot, A., Genevois, C., Desliens, S., Saieb, S., & Rogowski, I. (2012). Motor imagery and 'placebo-racket effects' in tennis serve performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 13(5), 533-540.

Guillot, A., & Collet, C. (2008). Construction of the motor imagery integrative model in sport: a review and theoretical investigation of motor imagery use. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 1(1), 31-44.

Gordon, A. M. (2011). To constrain or not to constrain, and other stories of intensive upper extremity training for children with unilateral cerebral palsy. *Developmental medicine & child neurology*, 53(s4), 56-61.

Gordon, A. M., Schneider, J. A., Chinnan, A., & Charles, J. R. (2007). Efficacy of a hand-arm bimanual intensive therapy (HABIT) in children with hemiplegic cerebral palsy: a randomized control trial. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 49(11), 830-838.

Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: a meta-analysis. *Human brain mapping*, 12(1), 1-19.

Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C. L., & Doyon, J. (2003). Functional cerebral reorganization following motor sequence learning through mental practice with motor imagery. *Neuroimage*, 20(2), 1171-1180.



- Jackson, P. L., Lafleur, M. F., Malouin, F., Richards, C., & Doyon, J. (2001). Potential role of mental practice using motor imagery in neurologic rehabilitation. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 82(8), 1133-1141.
- Jeannerod, M. (2001). Neural simulation of action: a unifying mechanism for motor cognition. *Neuroimage*, 14(1), S103-S109.
- Jeannerod, M., & Decety, J. (1995). Mental motor imagery: a window into the representational stages of action. *Current opinion in neurobiology*, 5(6), 727-732.
- Jeannerod, M. (1994). Motor representations and reality. *Behavioral and Brain sciences*, 17(02), 229-245.
- Kho, A. Y., Liu, K. P., & Chung, R. C. (2014). Meta-analysis on the effect of mental imagery on motor recovery of the hemiplegic upper extremity function. *Australian occupational therapy journal*, 61(2), 38-48.
- Krumlinde-Sundholm, L., Holmefur, M., Kottorp, A., & Eliasson, A. C. (2007). The Assisting Hand Assessment: current evidence of validity, reliability, and responsiveness to change. *Developmental medicine and child neurology*, 49(4), 259.
- Krumlinde-sundholm, L., & Eliasson, A. C. (2003). Development of the Assisting Hand Assessment: a Rasch-built measure intended for children with unilateral upper limb impairments. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 10(1), 16-26.
- Liu, K. P., Chan, C. C., Lee, T. M., & Hui-Chan, C. W. (2004). Mental imagery for promoting relearning for people after stroke: a randomized controlled trial. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 85(9), 1403-1408.
- Lotze, M., Montoya, P., Erb, M., Hülsmann, E., Flor, H., Klose, U., ... & Grodd, W. (1999). Activation of cortical and cerebellar motor areas during executed and imagined hand movements: an fMRI study. *Journal of cognitive neuroscience*, 11(5), 491-501.
- Malouin, F., Jackson, P. L., & Richards, C. L. (2013). Towards the integration of mental practice in rehabilitation programs. A critical review. *Frontiers in human neuroscience*, 7, 576.
- Malouin, F., Richards, C. L., & Durand, A. (2012). Slowing of motor imagery after a right hemispheric stroke. *Stroke research and treatment*, 2012.
- Oishi, K., Kasai, T., & Maeshima, T. (2000). Autonomic response specificity during motor imagery. *Journal of physiological anthropology and applied human science*, 19(6), 255-261.

- Page, S. J., Szaflarski, J. P., Eliassen, J. C., Pan, H., & Cramer, S. C. (2009). Cortical plasticity following motor skill learning during mental practice in stroke. *Neurorehabilitation and neural repair*.
- Page, S. J., Levine, P., & Leonard, A. (2007). Mental practice in chronic stroke results of a randomized, placebo-controlled trial. *Stroke*, *38*(4), 1293-1297.
- Page, S. J., Levine, P., Sisto, S., & Johnston, M. V. (2001). A randomized efficacy and feasibility study of imagery in acute stroke. *Clinical rehabilitation*, *15*(3), 233-240.
- Porretta, D. L., & Surburg, P. R. (1995). Imagery and physical practice in the acquisition of gross motor timing of coincidence by adolescents with mild mental retardation. *Perceptual and motor skills*, *80*(3c), 1171-1183.
- Riccio, I., Iolascon, G., Barillari, M. R., Gimigliano, R., & Gimigliano, F. (2010). Mental practice is effective in upper limb recovery after stroke: a randomized single-blind cross-over study. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, *46*(1), 19-25.
- Rosenbaum, P., Paneth, N., Leviton, A., Goldstein, M., Bax, M., Damiano, D., ... & Jacobsson, B. (2007). A report: the definition and classification of cerebral palsy April 2006. *Dev Med Child Neurol Suppl*, *109*(suppl 109), 8-14.
- Sakzewski, L., Ziviani, J., & Boyd, R. N. (2013). Efficacy of upper limb therapies for unilateral cerebral palsy: a meta-analysis. *Pediatrics*, peds-2013.
- Sharma, N., Pomeroy, V. M., & Baron, J. C. (2006). Motor imagery a backdoor to the motor system after stroke?. *Stroke*, *37*(7), 1941-1952.
- Sirigu, A., & Duhamel, J. R. (2001). Motor and visual imagery as two complementary but neurally dissociable mental processes. *Cognitive Neuroscience, Journal of*, *13*(7), 910-919.
- Steenbergen, B., Jongbloed-Pereboom, M., Spruijt, S., & Gordon, A. M. (2013). Impaired motor planning and motor imagery in children with unilateral spastic cerebral palsy: challenges for the future of pediatric rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *55*(s4), 43-46.
- Steenbergen, B., Craje, C., Nilsen, D. M., & Gordon, A. M. (2009). Motor imagery training in hemiplegic cerebral palsy: a potentially useful therapeutic tool for rehabilitation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, *51*(9), 690-696.

- Steenbergen, B., & Gordon, A. M. (2006). Activity limitation in hemiplegic cerebral palsy: evidence for disorders in motor planning. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 48(09), 780-783.
- Szaflarski, J. P., Page, S. J., Kissela, B. M., Lee, J. H., Levine, P., & Strakowski, S. M. (2006). Cortical reorganization following modified constraint-induced movement therapy: a study of 4 patients with chronic stroke. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 87(8), 1052-1058.
- Taub, E., Ramey, S. L., DeLuca, S., & Echols, K. (2004). Efficacy of constraint-induced movement therapy for children with cerebral palsy with asymmetric motor impairment. *Pediatrics*, 113(2), 305-312.
- Taub, E., Uswatte, G., & Elbert, T. (2002). New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 228-236.
- Wechsler, D. (2003). Wechsler intelligence scale for children—Fourth Edition (WISC-IV). *San Antonio, TX: The Psychological Corporation.*
- Weiss, T., Hansen, E., Rost, R., Beyer, L., Merten, F., Nichelmann, C., & Zippel, C. (1994). Mental practice of motor skills used in poststroke rehabilitation has own effects on central nervous activation. *International Journal of Neuroscience*, 78(3-4), 157-166.
- Williams, J., Reid, S. M., Reddihough, D. S., & Anderson, V. (2011). Motor imagery ability in children with congenital hemiplegia: effect of lesion side and functional level. *Research in developmental disabilities*, 32(2), 740-748.
- Wilson, P. H., Thomas, P. R., & Maruff, P. (2002). Motor imagery training ameliorates motor clumsiness in children. *Journal of Child Neurology*, 17(7), 491-498.
- Wolpert, D. M., & Flanagan, J. R. (2001). Motor prediction. *Current Biology*, 11(18), R729-R732.
- Wolpert, D. M. (1997). Computational approaches to motor control. *Trends in cognitive sciences*, 1(6), 209-216.
- Zijdewind, I., Toering, S. T., Bessem, B., van der Laan, O., & Diercks, R. L. (2003). Effects of imagery motor training on torque production of ankle plantar flexor muscles. *Muscle & nerve*, 28(2), 168-173.

## **ANEXO I – Parecer do Comitê de Ética**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS  
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA – COEP**

**Projeto: CAAE – 23633913.9.0000.5149**

**Interessado (a): Prof. Vitor Geraldi Haase  
Departamento de Psicologia  
FAFICH – UFMG**

**DECISÃO**

O Comitê de Ética em pesquisa da UFM – COEP aprovou, no dia 03 de fevereiro de 2014, o projeto de pesquisa intitulado “Ambulatório NEUROPLA: intervenção através da prática de Treinamento de pais e de Treinamento de Imagética Motora para crianças com Paralisia Cerebral hemiplégica (PCH)” bem como o Termo de Consentimento Livre e esclarecido.

O relatório final ou parecer deverá ser encaminhado ao COEP um ano após o início do projeto.

  
Prof. Maria Teresa Marques Amaral  
Coordenadora do COEP-UFMG